



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
CAP INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



TESIS:

**“DISEÑO DE CALDERAS PIROTUBULARES DE 15 BHP CON PARÁMETROS DE
TRABAJO PARA ALTITUDES SUPERIORES A 3800 m.s.n.m.”**

PRESENTADO POR:

- **BACH. CANSAYA QUISPE NEIL ALFIO**
- **BACH. HUALLATA APAZA PEDRO**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

JULIACA – PERÚ

2015

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 148-2015-D-FICP-UANCV**

Juliaca, 24 de julio de 2015.

VISTOS.- El Oficio N° 154-2015-D/CAPIME-UANCV, del Director de la CAP. de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el Informe N° 011-2015-MARH/UANCV del Presidente del Jurado dictaminador del Trabajo de Tesis, RESOLUCIÓN DECANAL N° 240-2014-D-FICP-UANCV, y con el acta de calificación de Perfil de tesis de fecha 26 de Noviembre de 2014, y el acta de calificación del Borrador de Tesis de fecha 22 de Julio de 2015, para optar al Título Profesional de Ingeniero Mecánico Eléctricista, con el tema titulado: **DISEÑO DE CALDERAS PIROTUBULARES DE 15 BHP CON PARÁMETROS DE TRABAJO PARA ALTITUDES SUPERIORES A 3800 m.s.n.m..**

CONSIDERANDO:

Que, el(los) Bachiller(es): **CANSAYA QUISPE, Neil Alfio y HUALLATA APAZA, Pedro**, ha presentado su Trabajo de Tesis Titulado: **DISEÑO DE CALDERAS PIROTUBULARES DE 15 BHP CON PARÁMETROS DE TRABAJO PARA ALTITUDES SUPERIORES A 3800 m.s.n.m..**

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el presidente de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías, nominó como Jurado a los siguientes Docentes:

- * **Presidente** : **M.Sc. MARIO ALEJANDRO, RAMOS HERRERA**
- * **1er Miembro** : **Ing. MIGUEL ANGEL, SALCEDO ENRIQUEZ**
- * **2do Miembro** : **Ing. NESTOR, YANCHAJLLA APAZA**

Que, el Jurado Dictaminador ha aprobado en su integridad el Trabajo de Tesis titulado: **DISEÑO DE CALDERAS PIROTUBULARES DE 15 BHP CON PARÁMETROS DE TRABAJO PARA ALTITUDES SUPERIORES A 3800 m.s.n.m..**

Estando en la opinión favorable por el Presidente de la Comisión de Grados y Títulos, en concordancia al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria 30220, ley de creación de la UANCV 23738 y modificación, Resolución de Institucionalización 1287-92-ANR D.L. 739, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR, el **TRABAJO DE TESIS**, de el(los) Bachiller(es): **CANSAYA QUISPE, Neil Alfio y HUALLATA APAZA, Pedro**, para optar al Título Profesional de Ingeniero Mecánico Eléctricista, con el Tema Titulado: **DISEÑO DE CALDERAS PIROTUBULARES DE 15 BHP CON PARÁMETROS DE TRABAJO PARA ALTITUDES SUPERIORES A 3800 m.s.n.m..**

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Tesis en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Carrera Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

ARTICULO SEGUNDO.- La Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director de la Carrera Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el Secretario Académico de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

C.c.
Interesado
Arch.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Ing. Ing. ALFREDO ZEGARRA BUTRÓN
DECANO
CIP: 32590



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Carlos A. Cáceres Vargas
SECRETARIO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
CIP: 72725



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
CAP INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS:

**"DISEÑO DE CALDERAS PIROTUBULARES DE 15 BHP CON PARÁMETROS
DE TRABAJO PARA ALTITUDES SUPERIORES A 3800 m.s.n.m."**

PRESENTADO POR:

- **BACH. CANSAYA QUISPE NEIL ALFIO**
- **BACH. HUALLATA APAZA PEDRO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

APROBADO POR LOS JURADOS:

PRESIDENTE

:

M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

PRIMER MIEMBRO :

Ing. MIGUEL ÁNGEL SALCEDO ENRÍQUEZ

SEGUNDO MIEMBRO:

Ing. NÉSTOR YANCACHAJLLA APAZA



Agradecimiento

Mi agradecimiento a Dios y a nuestro señor Jesucristo, a mis padres y hna. por ser los pilares fundamentales en mi formación profesional, y por el apoyo incondicional perfectamente mantenido a través del tiempo.

Neil Alfio Cansaya Quispe

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo especialmente a todos los ingenieros docentes de la CAPIME.

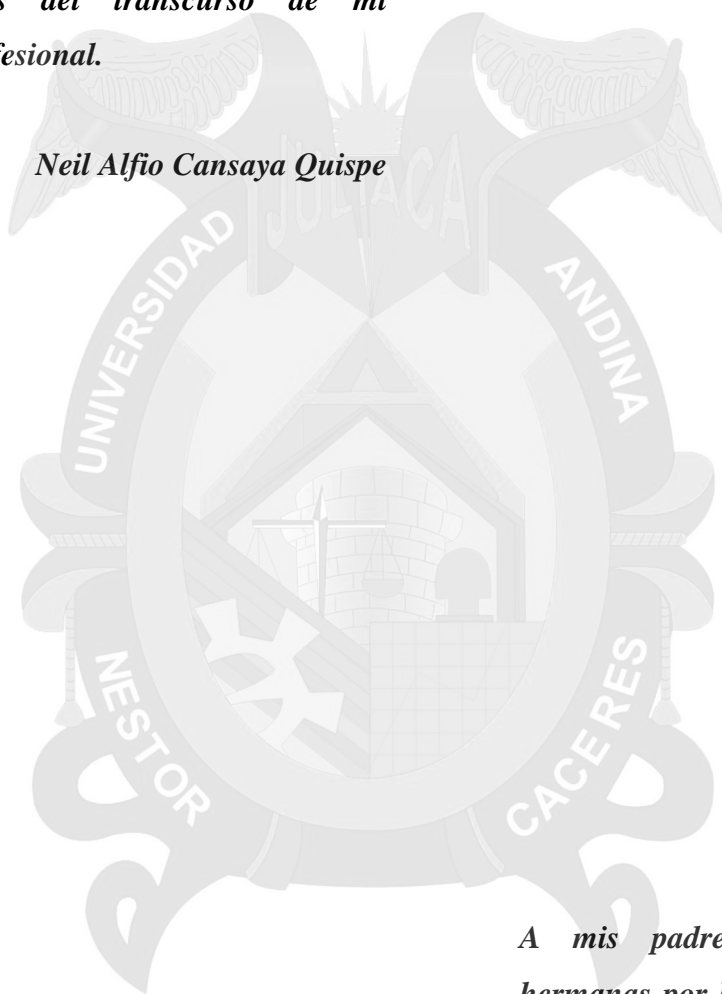
Pedro Huallata Apaza



Dedicatoria

A Dios por ser mi guía, a Jesucristo por ser mi inspiración y mi modelo. A mis padres y hna. por haberme apoyado en cada uno de los momentos del transcurso de mi formación profesional.

Neil Alfio Cansaya Quispe



A mis padres, mi hermano y hermanas por la confianza, amor y empeño para lograr con éxito esta meta que es solo el principio del camino.

Pedro Huallata Apaza



ÍNDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
Introducción	9
CAPÍTULO I	11
ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO	11
1.1 TITULO:	12
1.2 INVESTIGACIÓN NOMINAL	12
1.3 DATOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
1.4 UBICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS	12
1.5 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	13
1.6 OBJETIVOS	15
1.7 HIPOTESIS.....	15
CAPÍTULO II	21
FUNDAMENTO TEÓRICO	21
2.1 DEFINICIONES GENERALES Y CLASIFICACIÓN DE CALDERAS	22
CAPÍTULO III	43
SISTEMAS DE CALDERAS. CLASIFICACIONES, PRÁCTICAS DE OPERACIÓN FUNDAMENTALES Y RESPONSABILIDADES	43
DEFINICIONES DE CALDERA	54
ORGANIZACIONES RELACIONADOS CON NORMATIVA	62
CAPÍTULO IV	67
FABRICACIÓN DE CALDERAS POR SOLDADURA Y TECNICAS NDT (NO DESTRUCTIVAS).....	67
UNIONES POR SOLDADURA	68
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	79
CUALIFICACION DEL SOLDADOR	80
PRUEBAS Y EXAMENES NO DESTRUCTIVOS	84



CÁLCULOS DE RESISTENCIA, TENSIONES Y PRESIONES ADMISIBLES	100
CÁLCULO DE LA PRESIÓN ADMISIBLE	113
USO DE LAS ECUACIONES NORMATIVAS.....	140
CAPÍTULO V.....	141
CÁLCULOS Y DISEÑOS	141
5.1 DISEÑO DEL EQUIPO	142
5.1.1 ELEMENTOS DE LA COMBUSTIÓN	142
5.1.1.1 CÁLCULO DE FLUJO DE COMBUSTIBLE	142
5.1.1.2 CÁLCULO DEL FLUJO DE AIRE NECESARIO	144
5.1.1.3 VARIACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE CON LA ALTURA	145
5.1.2 ESTUDIO DEL ÁREA DE CALEFACCIÓN	146
5.1.3 DIÁMETRO DE LOS TUBOS	146
5.2 CÁLCULO DE RENDIMIENTOS DE LAS CALDERAS E INSTALACIONES.....	150
5.2.1 RENDIMIENTO UTIL (η_u).....	150
5.2.1.1 POTENCIA ÚTIL (P_u).....	150
5.2.1.2 POTENCIA QUEMADA (P_c)	151
5.2.1.3 EL RENDIMIENTO DE COMBUSTIÓN (η_c)	158
AGUA DE LA INSTALACIÓN	179
CAPÍTULO VI.....	183
ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	183
CAPÍTULO VII.....	188
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	188
CONCLUSIONES.....	190
RECOMENDACIONES.....	191
LIMITANTES	191
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN	192
ANEXOS	193



***“El descubrimiento del fuego le ha
permitido al hombre construir una
civilización basada en la
transformación de la energía
calorífica en mecánica”***



RESUMEN

El presente trabajo de investigación pretende mostrar el cálculo de las calderas pirotubulares en alturas superiores a los 3800 m.s.n.m. descubriendo defectos en la generación de calor a consecuencia de la combustión con déficit de oxígeno el cual es bastante pobre en estas altitudes. Se trabaja en forma comparativa identificando los parámetros de funcionamiento para realizar los cálculos más importantes de calderos, es decir, eficiencia, trabajo, transmisión de calor, evaporación del condensado a temperaturas inferiores a los 100°C y la consecuente producción de vapor en altura.

Consideramos que el cálculo más importante de una caldera pirotubular es el de eficiencia pues mediante ella determinamos el funcionamiento de la máquina. Además debemos tomar en cuenta que la eficiencia de una caldera a vapor está determinada como el porcentaje de combustible que se convierte en energía calórica para generar el vapor. El método utilizado para calcular este parámetro generalmente es el de pérdidas de calor, en el que se suman las pérdidas individuales de calor como un porcentaje de la energía suministrada y se le resta al 100%. El valor del punto de operación normal de las calderas industriales es 80% y el rango de operación normalmente varía entre 65% y 85% en condiciones atmosféricas normales, es decir, a nivel del mar. En nuestro trabajo recalculemos los valores mencionados anteriormente de tal manera que podamos tomar en consideración acciones para el diseño de estas máquinas o sus modificaciones constructivas para su funcionamiento en altura.

En resumen, nuestro trabajo de investigación pretende mostrar el cálculo y diseño de calderas con parámetros de trabajo a altitudes iguales o superiores a los 3800 m.s.n.m.

Los autores.



ABSTRACT

This research work aims to show the calculation of the boilers, firetube at heights exceeding 3800 m.a.s.l. discovering flaws in the generation of heat as a result of combustion with oxygen which is pretty poor at these altitudes deficit. Working in comparative form identifying the operating parameters for the most important calculations of kettles, i.e., efficiency, work, heat transfer, evaporation of the condensate at temperatures below 100 ° C and the consequent production of steam in height. We believe that the most important calculation of a boiler fire is the efficiency because through it we determine the operation of the machine. We must also take into account that the efficiency of a boiler steam is determined as the percentage of fuel that it becomes heat energy to generate steam.

The method used to calculate this parameter usually is heat loss, in which individual heat losses as a percentage of the power supply are added and subtracted him 100%. The value of the point of normal operation of industrial boilers is 80% and operating range typically varies between 65% and 85% in normal weather conditions, i.e. to the sea level. In our work we refigure the values mentioned above so that we can take into account actions for the design of these machines or its constructive modifications to its working height. In short, our research work aims to show the calculation and design of boilers with working parameters at altitudes or above the 3800 m.a.s.l.

The authors.



Introducción

La primera mención de la idea de utilizar vapor para obtener energía aparece en "La neumática", del inventor y matemático griego Herón de Alejandría, en el siglo I. Allí describió su eolípila, una turbina de vapor que consistía en una caldera conectada mediante dos tubos a los polos de una esfera hueca que podía girar libremente. La esfera estaba equipada con dos boquillas biseladas por donde salía vapor que producía la rotación de la esfera.

El inventor escocés James Watt mejoró la máquina de Newcomen e introdujo el primer avance significativo de la caldera, el recipiente esférico o cilíndrico que se calentaba por abajo con una hoguera. La caldera de Watt, construida en 1785, consistía en un armazón horizontal cubierto de ladrillo con conductos para dirigir los gases calientes de la combustión sobre la caldera. Watt, uno de los primeros ingenieros que aprovechó las propiedades termodinámicas del vapor de agua, utilizó la válvula de seguridad de palanca, manómetros para medir la presión y grifos para controlar el flujo de agua y vapor en sus calderas.

En el presente trabajo de investigación se resuelve el problema del trabajo de las calderas en alturas superiores a los 3800 m.s.n.m. puesto que toda la industria de la calderería ha sido orientada a la fabricación de calderos con parámetros térmicos y constructivos equivalentes a los del nivel del mar ocasionando problemas en el funcionamiento de las mismas pues la densidad del aire y la presión atmosférica juegan un importante rol en el óptimo funcionamiento de estas máquinas. Puesto que el avance de las industrias ha utilizado estas calderas de manera significativa para los procesos de transferencia de calor que cuyo objetivo es generar vapor mediante una combustión hecha en el horno planteamos su diseño en altura.

Debido a la creación de industrias que manejan procesos de transferencia de calor, hubo la necesidad de exigir un equipo generador de vapor, es el caso de una caldera, hornos o los re hervidores. Una caldera es un recipiente cerrado en el cual el agua se evapora por la aplicación de calor constantemente, también realiza con la máxima eficiencia posible la transferencia de calor. Para seleccionar una caldera hay considerar ciertos parámetros según se requiera el uso de ella, la caldera requiere del cambio de quemadores de aceite a



gas y viceversa para disminuir costos operacionales, minimizar daños en la caldera y ahorrar energía. Para tener un buen desempeño y funcionamiento en una caldera es necesario realizar una serie de pruebas, una de ellas es la prueba de los deshollinadores que se hace antes de poner la caldera en servicio para constatar el funcionamiento de los deshollinadores, otra importante prueba es la hidrostática que es un procedimiento operacional que permite verificar la resistencia mecánica de una caldera sometida a un esfuerzo por alta presión.

En conclusión, el presente trabajo de investigación plantea el diseño de calderas con parámetros de trabajo a altitudes superiores a los 3800 m.s.n.m.

Los autores.





CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO



1.1. TÍTULO:

"DISEÑO DE CALDERAS PIROTUBULARES DE 15 BHP CON PARÁMETROS DE TRABAJO PARA ALTITUDES SUPERIORES A 3800 m.s.n.m"

1.2. INVESTIGACIÓN NOMINAL

La investigación es nominal pues se plantea en un perfil básico sin incidir en las hipótesis complejas ni en las inferencias estadísticas profundas. Demostraremos en el presente trabajo que el diseño de calderos es un rubro de bastante interés y utilidad pues proveerá a la industria puneña soluciones ante el mal funcionamiento de los calderos que vienen diseñados para niveles del mar.

1.2. DATOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los principales aspectos de la investigación están basados en la determinación del diseño y metodología del mismo, los parámetros térmicos y constructivos así como la potencia del caldero para el planteamiento de los elementos de investigación.

1.3. DATOS DEL INVESTIGADOR

- NOMBRES Y APELLIDOS : NEIL ALFIO CANSAYA QUISPE
PEDRO HUALLATA APAZA
- ESTUDIOS SUPERIORES : UANCV

1.4. UBICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

REGIÓN : PUNO

PROVINCIA : SAN ROMAN

DISTRITO : JULIACA

LUGAR : CAP INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA –
UNIVERSIDAD ANDINA DE JULIACA (ENTIDADES ENCARGADAS DE
REALIZAR LA INVESTIGACIÓN).

1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Definición del Problema

La caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.

Según la ITC-MIE-AP01, caldera es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

La caldera es un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas un set de intercambiadores de calor, en la cual se produce un cambio de fase. Además, es recipiente de presión, por lo cual es construida en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas.

Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, la caldera es muy utilizada en la industria, a fin de generarlo para aplicaciones como:

Esterilización (tindarización): era común encontrar calderas en los hospitales, las cuales generaban vapor para "esterilizar" el instrumental médico; también en los comedores, con capacidad industrial, se genera vapor para esterilizar los cubiertos, así como para elaborar alimentos en marmitas (antes se creyó que esta era una técnica de esterilización).

Para calentar otros fluidos, como por ejemplo, en la industria petrolera, donde el vapor es muy utilizado para calentar petróleos pesados y mejorar su fluidez. El problema radica en que el diseño de estos calderos son realizados para altitudes a nivel del mar no considerándose alturas como las de Puno o el altiplano peruano, si bien se cuenta con equipos que compensan la deficiencia de aire en la combustión éstos no sirven para complementar el proceso de generación de calor ni tampoco conducen al ahorro de combustible en situaciones normales de producción de vapor.

En función de un diseño constructivo nuevo es que se plantea resolver este problema de falta de eficiencia y trabajo óptimo de los calderos pirotubulares utilizados en altura.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es en este contexto que nos hemos planteado el presente trabajo de investigación y para ello debemos de resolver cuatro preguntas claves en las cuales se centra el análisis que vamos a desarrollar:

Pregunta General

P.G. *¿De qué manera se puede plantear el diseño de calderas pirotubulares de 15 BHP con parámetros de trabajo para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m.?*

Preguntas Específicas

P.E. 1: *¿Qué métodos emplearemos para el diseño constructivo de calderas pirotubulares de 15 BHP con parámetros de trabajo para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m.?*

P.E. 2: *¿Qué factores influyen en los procedimientos de recalcado de parámetros térmicos para realizar el diseño de calderas pirotubulares de 15 BHP para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m.?*

P.E. 3: *¿En qué medida influye el diseño de calderas pirotubulares para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m. en la eficiencia y rendimiento de combustible?*

El trabajo, por lo tanto, estará enmarcado en la resolución de estas preguntas las cuales nos proporcionarán el norte de la investigación permitiéndonos formular planteamientos y desarrollo de objetivos en función de la factibilidad de la resolución de las mismas.



1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

O. G. Plantear el diseño de calderas pirotubulares de 15 BHP con parámetros de trabajo para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O.E. 1: Realizar el diseño constructivo de calderas pirotubulares de 15 BHP con parámetros de trabajo para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m.

O.E. 2: Determinar la influencia de los procedimientos de recálculo de parámetros térmicos para realizar el diseño de calderas pirotubulares de 15 BHP para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m.

O.E. 3: Establecer en rango de influencia que presenta el diseño de calderas pirotubulares para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m. en la eficiencia y rendimiento de combustible.

1.7. HIPÓTESIS

Plantearemos las hipótesis orientadas a resolver las interrogantes del problema motivo del presente trabajo de investigación, de la siguiente manera:

1.7.1. Hipótesis General

H.G. Mediante el planteamiento del diseño de calderas pirotubulares de 15 BHP con parámetros de trabajo para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m. se propone el uso y construcción de calderas adecuadas a las zonas de altitud y su eficiente funcionamiento.

1.7.2. Hipótesis Específicas

H.E. 1: Los métodos que se emplean en la tesis para realizar el diseño constructivo de calderas pirotubulares de 15 BHP con parámetros de

trabajo para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m. son los adecuados y suficientes.

H.E. 2: Al determinar la influencia de los procedimientos de recálculo de parámetros térmicos para realizar el diseño de calderas pirotubulares de 15 BHP para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m. se pueden corregir los factores de diseño existentes.

H.E. 3: Si determinamos la influencia del diseño de calderas pirotubulares para altitudes superiores a 3800 m.s.n.m. en la eficiencia y rendimiento de combustible entonces se demostrará que el proyecto de tesis planteado ha tenido el suficiente sustento académico.

1.8. VARIABLES

1.8.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Procedimiento de cálculo de la presión del caldero pirotubular.
- Planteamiento del cálculo de la capacidad del vapor en alturas superiores a los 3800m.s.n.m.
- Determinación de la temperatura nominal de trabajo del caldero pirotubular.

1.8.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- Potencia de trabajo de los calderos pirotubulares de 15BHP en altura.
- Eficiencia de trabajo de los calderos pirotubulares de 15BHP en altura.

1.8.3. VARIABLES INTERVINIENTES

- Ubicación
- Disponibilidad
- Costos

1.9. JUSTIFICACIÓN

Debido al principio de diseño, no pueden conseguirse unas producciones tan grandes ni unos parámetros de vapor tan extremos en calderas pirotubulares. Sin embargo, las calderas pirotubulares son aún objeto de mejoras hoy en día. Algunos ejemplos de mejoras – inicialmente implantadas por Bosch Industriekessel GmbH – es la introducción en 1953 de una caldera de tres pasos con cámara de inversión refrigerada por agua, el desarrollo de una caldera de doble hogar de combustión (1956) o los electrodos de seguridad para controlar el nivel mínimo de agua (1977). De esta manera, hoy en día pueden cubrirse con seguridad y de forma económica unas producciones de vapor hasta de 55 t/h casi exclusivamente mediante una única caldera pirotubular.

En el presente trabajo de investigación pretendemos hacer un diseño básico de una caldera de tipo pirotubular para altitudes referenciales del altiplano peruano. Con esta consideración se pueden construir modelos más avanzados y con mayores prestaciones en función de las aplicaciones y requerimientos del mercado.

1.10. METODOLOGÍA

Como hemos indicado en los datos generales el tipo de investigación es:

ANALÍTICO DEDUCTIVO

Hemos escogido este tipo de investigación pues analizaremos el efecto producido por la altitud (altiplano peruano) con la manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Las fuentes de información son de tipo secundaria obtenidas de material electrónico (software) y las técnicas a emplear son las de uso de medios electrónicos con aplicación de programas de ingeniería en computadora personal.



1.11. ANTECEDENTES

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MINI CALDERA PIROTUBULAR PARA EL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Universidad Industrial de Santander - Bucaramanga

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas – Escuela de Ingeniería Mecánica

Omar Arturo Iguarán Duarte

Diana Milena Martínez Barrios

SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR APLICADO A BAÑOS TURCOS Y SAUNA.

Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia

Chavarro, David y Moncada, Ivan.

OPERADORES DE CALDERAS INDUSTRIALES. MUTUAL DE SEGURIDAD: CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN.

Hernando Vélez Sánchez.

DESARROLLO DE SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO TÉRMICO DE CALDERAS PIROTUBULARES HORIZONTALES CON QUEMADORES DIESEL Y BÚNKER

Escuela Politécnica del Litoral – Guayaquil – Ecuador

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Autor: Nick Lee Quiñonez Cercado

A COMPARISON OF THE ABRASIVE WEAR BEHAVIOUR OF IRON-CHROMIUM BASED HARDFACED COATINGS DEPOSITED BY SMAW AND ELECTRIC ARC SPRAYING.

Masachusetts Institut of Tecnology. U.S.A. V.E. Buchanan, D.G. McCartney, P.H. Shipway.

Uribazó Díaz, Pedro Celestino; Tito Ferro, Daria; Ochoa Estévez, Juan Omar

INFLUENCIA DE LAS CALDERAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

Ciencia en su PC, núm. 3, julio-septiembre, 2006, pp. 1-13



Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba

Santiago de Cuba, Cuba

SISTEMAS DE GENERACIÓN DE VAPOR CON CALDERAS ADECUADAS Y MODIFICADAS ESTRUCTURALMENTE PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Javier Muñoz Antón. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

i. Restricciones

Las restricciones que presenta el estudio están en función de la posibilidad de trabajar con un caldero real de la potencia que hemos indicado de manera que se pueda desmontar y poner en funcionamiento con las correcciones que se indican en el presente proyecto.

De igual manera, el acceso a información de funcionamiento y optimización del trabajo de calderos en altura es prácticamente nula por lo que deberemos guiarnos de nuestros propios resultados.

El trabajo está enmarcado estrictamente al cálculo y diseño de calderos y los temas referidos a los aspectos de potencia, eficiencia y optimización deberán ser desarrollados por otros proyectistas.

ii. Técnicas

Las principales técnicas que se utilizaran en el presente trabajo son:

- Análisis documental.
- Observaciones.
- Esquemas y diseños.
- Cálculo en software de ingeniería.
- Deducción para el análisis de resultados.



UTILIDAD DE LOS RESULTADOS

La utilidad de los resultados puede expresarse de la siguiente manera:

- Comprobaremos y rediseñaremos calderos que trabajen en altura con algunas modificaciones referentes a su estructura y materiales.
- Recomendamos que este estudio, se utilice como material de consulta, para su posible desarrollo por estudiantes y profesionales así como personal técnico de la industria.
- Que se continúe profundizando en el estudio y desarrollo de esta temática, por su importancia para el desarrollo de los servicios industriales del país y la economía del altiplano.
- Se podrá sugerir el rediseño de calderos para altitudes superiores a los 3800m.s.n.m.
- Industrialmente es un aporte bastante significativo que demandará ampliar la investigación.



CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES GENERALES Y CLASIFICACIÓN DE CALDERAS

Las calderas de vapor son unos aparatos en los que se hace hervir agua para producir vapor. El calor necesario para caldear y vaporizar el agua puede ser suministrado por un hogar, por gases calientes recuperados a la salida de otro aparato industrial (horno, por ejemplo), por el fluido refrigerador de una pila atómica, por irradiación solar o por una corriente eléctrica. Cuando el calor es suministrado por el líquido caliente o por vapor que se condensa, se suelen emplear otras denominaciones, tales como vaporizador y transformador de vapor. El sinónimo generador de vapor se emplea de preferencia cuando se habla de calderas de una cierta importancia. Durante su funcionamiento, la caldera propiamente dicha está sometida interiormente a la presión de equilibrio del agua y de su vapor a la temperatura alcanzada. Los otros elementos del grupo recorridos por el agua o el vapor, a partir de la bomba de alimentación (economizador, recalentador), están sometidos casi a la misma presión, pero la temperatura del fluido puede ser inferior o superior a la ebullición.

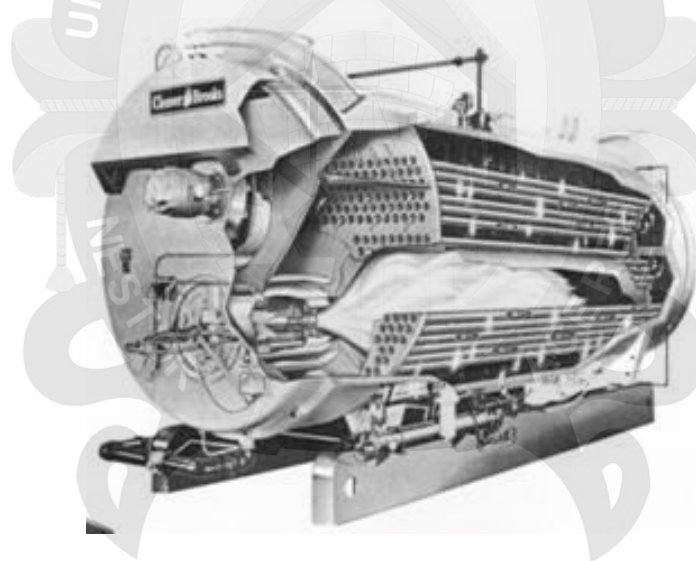


Fig. N°2.1. [Típico caldero pirotubular horizontal]

Fuente: <https://metalurgiaunmsm.wordpress.com/tag/disenio/>

Una caldera es un dispositivo que está diseñado para generar vapor saturado. Este vapor saturado se genera a través de una transferencia de energía (en forma de calor) en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado. La transferencia de calor se efectúa mediante un proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando progresivamente su presión y temperatura. La presión, como se indicó al inicio, no puede aumentar de manera



desmesurada, ya que debe permanecer constante por lo que se controla mediante el escape de gases de combustión, y la salida del vapor formado.

Debido a que la presión del vapor generado dentro de las calderas es muy grande, estas están construidas con metales altamente resistentes a presiones altas, como el acero laminado.

CALENTAMIENTO DE EQUIPOS DEL PROCESO

Uno o más calderos proporcionan el vapor necesario para usarlo en las máquinas y equipos de la planta en el proceso de calentamiento. La combustión siempre produce material de desecho hollín, cenizas, humo.

Las trampas de vapor son dispositivos que se colocan después de un equipo para separar el vapor húmedo del vapor saturado esta agua caliente se denomina condensado el mismo retorna al caldero.

MANERAS DE CALENTAR CON VAPOR SATURADO

a) Vapor directo:

Inyección directa del vapor al material. Se emplea en lugares donde el condensado no es problema.

b) Vapor indirecto:

Se realiza por medio de chaquetas, serpentines intercambiadores.

Transmite calor por las paredes del recipiente al fluido paredes, maquinas.

El vapor y el condensado no entran en contacto con el material a calentar.

APLICACIONES DEL VAPOR SATURADO

El vapor de agua generado por un caldero tiene múltiples aplicaciones, dependiendo de su presión, temperatura y caudal son:

1. Calentamiento de maquinaria y equipos del proceso.
2. Generación de fuerza motriz mecánica, por máquinas de vapor.
3. Generación de fuerza motriz mecánica por turbinas.
4. Generación de energía eléctrica por turbinas.
5. Otros usos menores.

CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS

Se clasifican según diversos criterios, relacionados con la disposición de los fluidos y su circulación, el mecanismo de transmisión de calor dominante, aspectos estructurales, modo de intercambio de calor, la forma del quemado del combustible, forma de alimentación del agua y otros muchos factores.

Basándose en algunos de estos criterios las calderas se pueden clasificar en:

CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA CIRCULACIÓN DE LOS FLUIDOS DENTRO DE LOS TUBOS DE LA CALDERA:

a) Calderas humo tubulares:

En estas calderas son los humos los que circulan por dentro de tubos, mientras que el agua se calienta y evapora en el exterior de ellos.

Todo este sistema está contenido dentro de un gran cilindro que envuelve el cuerpo de presión.

Los humos salen de la caldera a temperaturas superiores a 70 °C de forma que se evita la condensación del vapor de agua que contienen, evitando así problemas de formación de ácidos y de corrosión de la caldera. Al evacuar los humos calientes, se producen pérdidas de energía con la consiguiente bajada del rendimiento de la caldera.

b) Calderas acuotubulares:

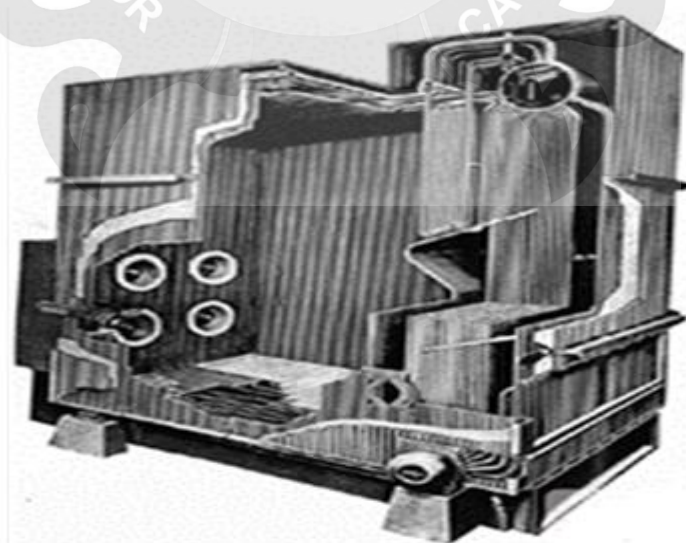


Fig. N°2.1. [Caldero pirotubular vertical]

Fuente: <https://metalurgiaunmsm.wordpress.com/tag/disenio/>

Por dentro de tubos circula el agua y la mezcla de agua y vapor. Por fuera, generalmente en flujo cruzado, intercambian calor los humos productos de la combustión. En este tipo de calderas además el hogar (recinto donde se produce la combustión) está conformado por paredes de tubos de agua. En ellas el intercambio es básicamente por radiación desde la llama.

En este tipo de calderas es el agua o fluido térmico que se pretende calentar, es la que circula por el interior de los tubos que conforman la cámara de combustión y que están inmersos entre los gases o llamas producidas por la combustión. El vapor o agua caliente se genera dentro de estos tubos.

Existen dos tipos de agrupaciones de tubos, de subida y de bajada que se comunican entre sí en dos domos.

c) Calderas pirotubulares:

En este tipo de caldera el humo caliente procedente del hogar circular por el interior de los tubos gases, cambiando de sentido en su trayectoria, hasta salir por la chimenea.

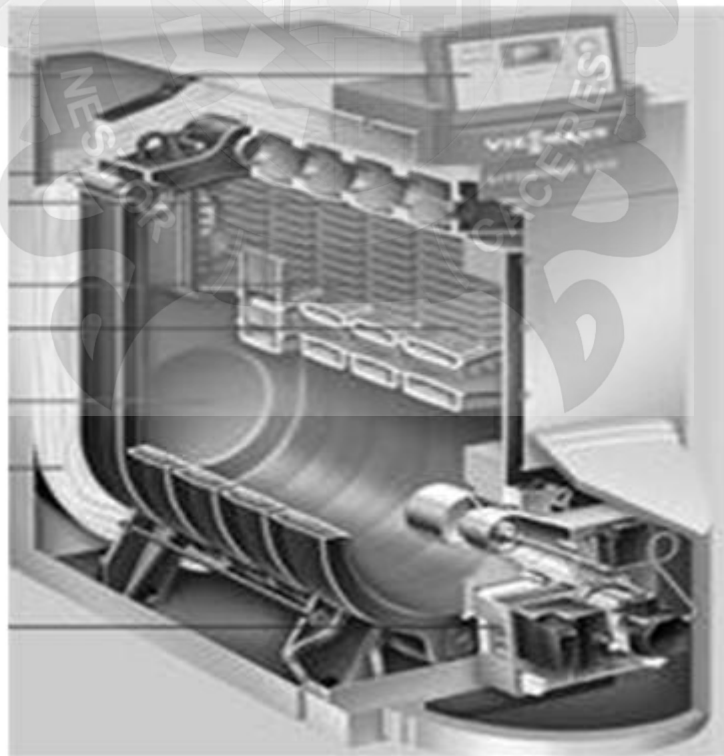


Fig. N°2.3. [Típico caldero pirotubular]

Fuente:<http://www.monografias.com/trabajos97/calderos-tipos/calderos-tipos.shtml>



El calor liberado en el proceso de combustión es transferido a través de las paredes de los tubos al agua que los rodea, quedando todo el conjunto encerrado dentro de una envolvente o carcasa convenientemente calorifugada.

A través de este recorrido, el humo, ceden gran parte de su calor al agua, vaporizándose parte de esta agua y acumulándose en la parte superior del cuerpo en forma de vapor saturado. Esta vaporización parcial del agua es la que provoca el aumento de la presión del interior del recipiente y su visualización en el manómetro.

Su rendimiento global esperado a lo largo de su vida útil no supera el 65% en el mejor de los casos.

Este tipo de generadores, por su diseño no admiten presiones de trabajo elevadas, más allá de las dos o tres atmósferas; son de construcción sencilla y disponen de moderada superficie de intercambio, por lo no se utilizan para elevadas producciones de vapor.

Son en compensación, muy económicos en costo y de instalación sencilla, por lo que su utilización actual primordial es para calefacción y producción de vapor para usos industriales.

CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA PRESIÓN DE TRABAJO DE LA CALDERA

a) Calderas de baja presión

Calderas que producen vapor a baja presión, hasta unos 4 o 5 kg/cm².

Este rango de presiones es más común en las calderas de agua caliente que en las calderas que generan vapor.

b) Calderas de media presión

Producen vapor hasta aproximadamente 20 kg/cm².

Generalmente vapor saturado, utilizadas en la industria en general.

c) Calderas de alta presión

Asociadas a ciclos de potencia, trabajan con presiones de 20 kg/cm² hasta presiones cercanas a la crítica.

d) Calderas supercríticas.

Son calderas que trabajan con presiones superiores a la crítica:

225,56 ata, 374,15fC. Utilizadas en grandes plantas de generación de energía eléctrica, en EEUU y en algunos países de Europa, también hay algunas en Japón.

CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA PRODUCCIÓN DE VAPOR**a) Calderas chicas**

Producen hasta 1 o 2 toneladas de vapor saturado por hora.

b) Calderas medianas

Producciones de hasta aproximadamente 20 toneladas de vapor por hora.

Las calderas chicas y medianas casi en su totalidad son calderas humo tubulares de baja y media presión.

c) Calderas grandes

Calderas que producen desde 20 toneladas de vapor por hora, siendo normal encontrar producciones de 500 y 600 toneladas por hora. Generalmente vapor sobrecalentado, siendo calderas acuotubulares.

CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL COMBUSTIBLE UTILIZADO**a) Calderas de combustibles líquidos**

Se fabrican Generadores de Vapor de todo tipo y tamaño que utilizan combustibles líquidos.

Requieren de instalaciones de almacenaje y tanques de servicio, de elementos de precalentamiento del fuel y de sistemas de bombeo y transporte.

La viscosidad de estos combustibles varía desde 30 – 40 cSt (100°C) en los combustibles de baja viscosidad hasta 700 cSt (100°C) y más para combustibles de alta viscosidad, como los utilizados en sistemas de generación eléctrica.

En las plantas industriales en general se utilizan combustibles de viscosidad del orden de 380 - 450 cSt (100°C). Es normal tener que precalentarlos a 30 – 40°C para reducir su viscosidad y poder bombearlos hasta los quemadores.



La turbulencia del aire que entra al quemador es importante para obtener una correcta combustión y un largo de llama apropiado, de tal manera que no dañe las paredes de refractario o las paredes de tubos de agua y al mismo tiempo asegure una combustión completa de todas las gotas de fuel. Para esto es fundamental el dimensionamiento correcto del tamaño del hogar.

b) Calderas de combustible gaseosos

Utilizan tanto gas natural como GLP, aire propanado o gas obtenido en gasificadores. Generalmente los quemadores de gas trabajan con muy baja presión, por lo que es común que tengan sistemas de reducción de presión importantes.

En el caso de tener asociado un gasificador que suministre un gas muy particulado se utilizan cámaras torsionales a fin de aumentar el tiempo de permanencia del combustible en el hogar.

Es importante lograr una buena mezcla de aire-gas.

Con los combustibles gaseosos el riesgo de explosiones por acumulación de combustible no quemado es grande, por lo que es sumamente importante proveer las medidas de seguridad adecuadas. La posición de los quemadores de gas es similar a la de los que utilizan combustibles líquidos.

Es común utilizar quemadores duales, que permitan el uso de uno u otro combustible, dependiendo de su disponibilidad y costo. La emisividad de las llamas de estos combustibles es diferente, por lo que el intercambio por radiación resultará distinto según el combustible utilizado, Lo mismo ocurre con la temperatura de los humos a la salida del hogar y con las condiciones de intercambio en las zonas convectivas de la caldera. Son factores que hay que tener en cuenta, ya que modifican los resultados obtenidos en el equipo.

c) Calderas de combustibles sólidos

Los combustibles sólidos utilizados son muy variados: leña en todos los tamaños (rolos, astillas, chips), desechos de producción (pellets de madera, aserrín, bagazo de caña de azúcar, cáscara de arroz), carbón (en distintos grados de pulverización), etc.

Cada uno requerirá una tecnología apropiada para poder quemarlos de la mejor manera, desde molinos para pulverizarlos finamente hasta grillas muy sofisticadas.

El diseño del hogar para estos combustibles es sumamente complejo, teniendo que considerar el ingreso de aire suficiente y su correcta mezcla con el combustible, la permanencia de las partículas en el hogar para quemarse completamente y la disposición de las cenizas entre otros factores.

En general resultan hogares de mayor volumen que los utilizados en caleras de combustibles líquidos y gaseosos.

CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA CIRCULACIÓN DEL AGUA DENTRO DE LA CALDERA

Es una clasificación que tiene sentido en las calderas acuotubulares, en las humotubulares la circulación del agua en el interior es siempre por convección natural.

a) Circulación natural.

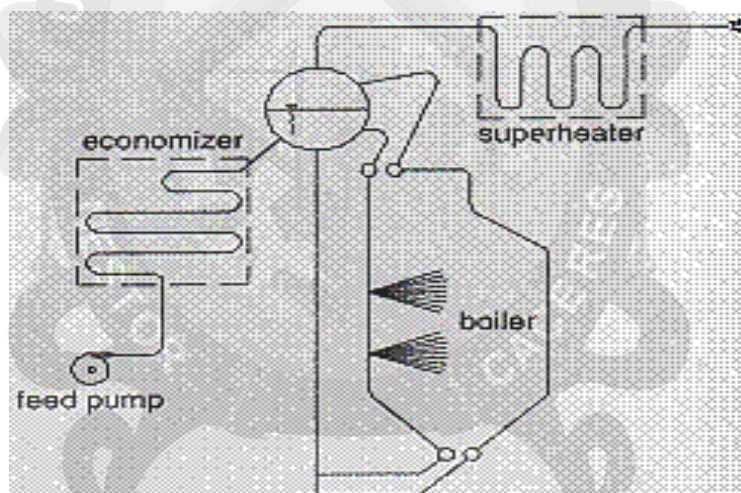
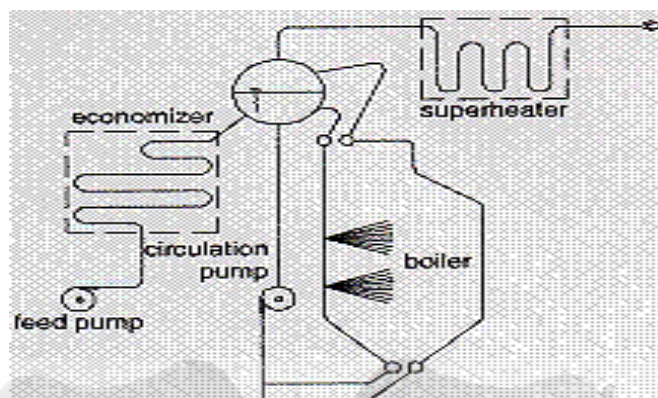


Fig. N°2.4. [Sistema de circulación natural]

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos97/calderos-tipos/calderos-tipos.shtml>

La circulación del agua y de la mezcla agua-vapor ocurre naturalmente debido a la diferencia de densidades entre el agua más fría y la mezcla de agua- vapor (efecto sifón).

Implica entonces tener un circuito cerrado por donde circula el agua y una diferencia de altura apreciable entre las partes altas y bajas del equipo.

b) Circulación asistida.**Fig. N°2.5. [Sistema de circulación asistida]**

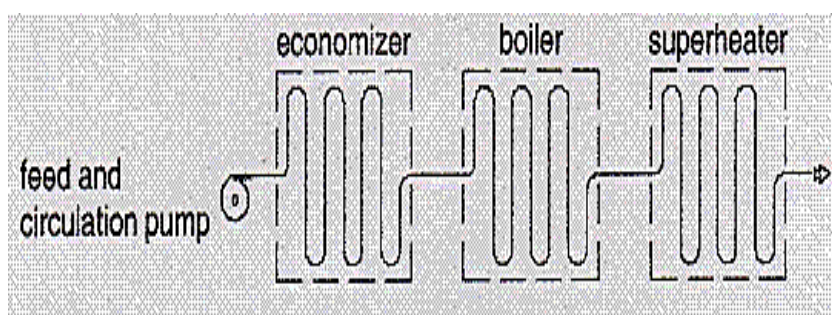
Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos97/calderos-tipos/calderos-tipos.shtml>

En este caso la circulación natural en los tubos de la caldera es complementada por bombas instaladas en el circuito.

En este caso también la caldera consiste en un circuito cerrado, pero permite construcciones más compactas incluso con tubos inclinados.

Se utiliza en aquellos caso en que la diferencia entre las densidades del fluido frío y del caliente no es demasiado grande, típicamente para presiones superiores a los 140-160 bar.

Brindan una respuesta más rápida ante variaciones en la demanda de vapor que los de circulación natural, pero las bombas trabajan con agua caliente y a altas presiones, son más costosas y requieren importantes mantenimientos. En general se debe instalar un sistema de respaldo para evitar la parada de toda la caldera por salida de servicio de la bomba.

c) Circulación forzada.**Fig. N°2.6. [Sistema de circulación forzada]**

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos97/calderos-tipos/calderos-tipos.shtml>



Este tipo de calderas tiene una concepción distinta, se trata de un circuito abierto y no cerrado.

La bomba impulsa el agua a través de una primera superficie de intercambio donde se precalienta, luego pasa a un segundo intercambiador donde se vaporiza y luego, en algunos casos, pasa a un tercer intercambiador donde se sobrecalienta.

A diferencia de las anteriores no hay una masa de agua circulando sin vaporizarse, la bomba entrega toda el agua que se vaporiza. No hace falta resaltar la importancia de la bomba en este diseño, un paro de la bomba implica un paro de la caldera.

CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL INTERCAMBIO DE CALOR.

Hay que aclarar previamente que no es una clasificación estricta, refiere al tipo de intercambio predominante que se da en las superficies de vaporización (se excluyen los intercambios en las superficies de recuperación: precalentadores y sobrecalentadores). En todas las calderas se tienen intercambios por radiación y por convección, difícilmente se encuentre uno solo de estos tipos.

En el hogar el intercambio es predominantemente por radiación desde la llama, pero hay zonas del mismo donde se puede producir intercambio por convección desde el flujo de humos (por ej. en la última parte del hogar de una caldera humotubular). Así mismo en las restantes superficies de intercambio (bancos de convección y tubos de humos), además del intercambio convectivo podemos tener radiación desde los gases a alta temperatura.

a) Radiantes, o de radiación total.

Son aquellas calderas que solo tienen hogar, y allí prácticamente todo el calor es intercambiado por radiación.

En general se trata de calderas acuotubulares grandes, donde los tubos en donde se genera el vapor conforman las paredes del hogar. Las altas temperaturas que se tienen en la combustión hacen que se tenga un intercambio muy importante de calor por radiación. Además estas calderas trabajan a presiones elevadas, con lo que el calor de vaporización necesario es relativamente bajo, y al utilizar agua de alimentación previamente calentada hasta temperaturas muy cercanas a la de

saturación, se consigue que las paredes de tubos del hogar sean suficientes para transferir todo el calor de vaporización necesario.

b) Convectivos.

Típicamente son las calderas HRSG (Heath Recovery Steam Generator), sin cámara de combustión. Utilizan un fluido caliente como fuente de calor, producto de algún proceso previo (hornos de fundición, hornos de vidrio, turbinas de gas, motores diesel, etc.)

c) De calentamiento indirecto.

Son calderas de fluidos térmicos en las que se calienta un fluido intermedio, típicamente un aceite, y este es el que al circular por un intercambiador, genera el vapor de agua. El fluido es nuevamente recirculado hacia la caldera.

PARTES PRINCIPALES DE UNA CALDERA

En este punto se tratarán sólo aquellas partes generales relevantes propias del diseño de las calderas.

Debido a que cada caldera dispone, dependiendo del tipo, de partes características, es muy difícil atribuir a todas ellas un determinado componente. En razón a lo anterior se analizarán las partes principales de las calderas en forma general, especificando en cada caso el tipo de caldera que dispone de dicho elemento.

HOGAR O FOGÓN

Es el espacio donde se quema el combustible. Se le conoce también con el nombre de "Cámara de Combustión". Los hogares se pueden clasificar en:

a) Según su ubicación

- Hogar exterior.
- Hogar interior.

b) Según tipo de combustible.

- Hogar para combustible sólido.
- Hogar para combustible líquido.
- Hogar para combustible gaseoso.

c) Según su construcción.

- Hogar liso.
- Hogar corrugado.

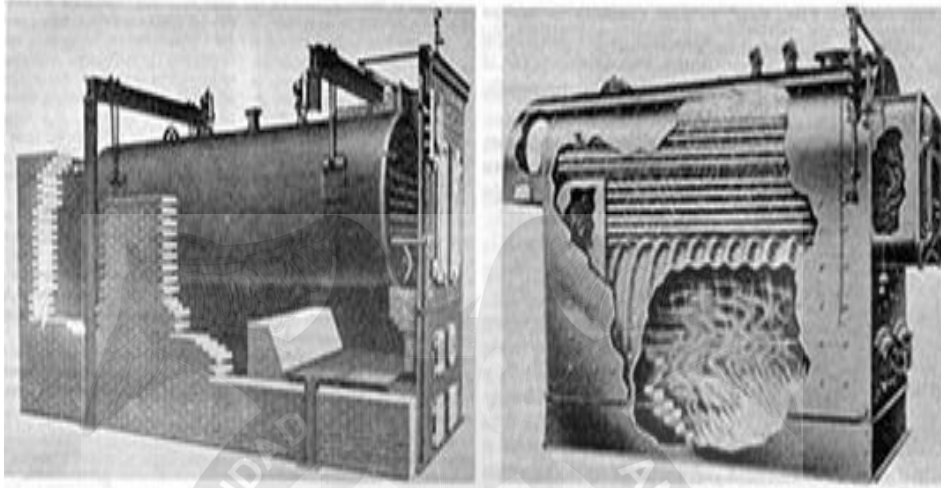


Fig. N°2.7. [Diseños constructivos de calderos]

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos97/calderos-tipos/calderos-tipos.shtml>

Esta clasificación rige solamente cuando el hogar de la caldera lo compone uno o más tubos, a los cuales se les da el nombre de "TUBO HOGAR".

PUERTA DEL HOGAR

Es una pieza metálica, abisagrada, revestida generalmente en su interior con refractario o de doble pared, por donde se echa el combustible al hogar y se hacen las operaciones de control del fuego.

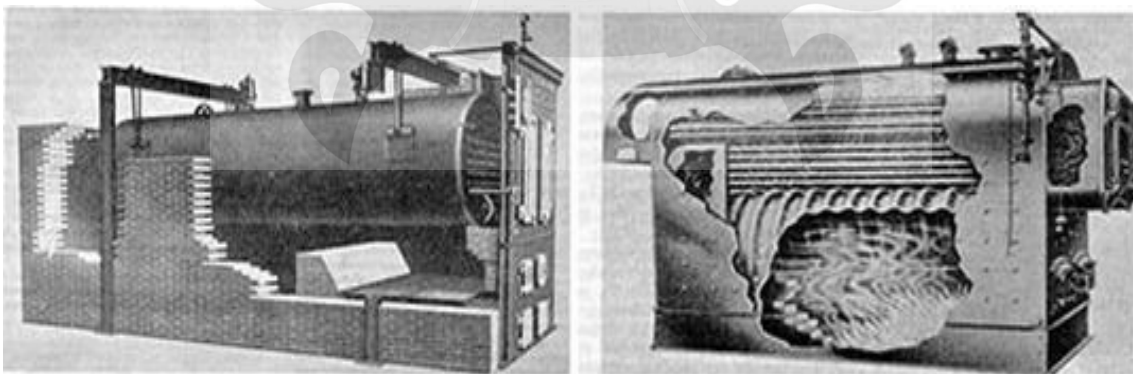


Fig. N°2.8. [Calderos horizontales]

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos97/calderos-tipos/calderos-tipos.shtml>

En calderas que queman combustibles líquidos o gaseosos, esta puerta es reemplazada por el quemador.

PARRILLAS (o emparrillado).

Son piezas metálicas en forma de rejas, generalmente rectangulares o trapezoidales, que van en el interior del fogón y que sirven de soporte al combustible sólido. Debido a la forma de reja que tienen, permiten el paso del "aire primario" que sirve para que se produzca la combustión.



Fig. N°2.9. [Ubicación de la puerta hogar del caldero]

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos97/calderos-tipos/calderos-tipos.shtml>

a) Las parrillas deben adaptarse al combustible y deben cumplir principalmente los siguientes requisitos:

- Deben permitir convenientemente el paso del aire
- Deben permitir que caiga la ceniza
- Deben permitir que se limpien con facilidad y rapidez
- Deben impedir que se junte escoria
- Los barrotes de la parrilla deben ser de buena calidad para que no se quemen o deformen. .
- Deben ser durables.
- Algunos diseños de parrillas permiten que por su interior pase agua para refrigerarla y evitar recalentamientos.

b) Tipos de Parrillas.

Según su instalación.

- Fijas o Estacionarias.- Son aquellas que no se mueven durante el trabajo.

- Móviles o Rotativas.- Son aquellas que van girando o avanzando mientras se quema el combustible.
- Según su posición.
- Horizontales
- Inclinadas
- Escalonada

MAMPOSTERIA

Se llama mampostería a la construcción de ladrillos refractarios o comunes que tienen como objeto:

- a. Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor y
- b. Guiar los gases y humos calientes en su recorrido.

Para mejorar la aislación de la mampostería se dispone a veces en sus paredes de espacios huecos (capas de aire) que dificultan el paso del calor. En algunos tipos de calderas, se ha eliminado totalmente la mampostería de ladrillo, colocándose solamente aislación térmica en el cuerpo principal y cajas de humos. Para este objeto se utilizan materiales aislantes tales como lana de vidrio recubierta con planchas metálicas y asbestos.

CONDUCTOS DE HUMO

Son los espacios por los cuales circulan los humos y gases calientes de la combustión. De esta forma se aprovecha el calor entregado por éstos para calentar el agua y/o producir vapor.

CAJA DE HUMO

Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.

CHIMENEA

Es el conducto de salida de los gases y humos de la combustión para la atmósfera. Además tiene como función producir el tiro necesario para obtener una adecuada combustión.

REGULADOR DE TIRO O TEMPLADOR

Consiste en una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma y que tiene por objeto dar mayor o menor paso a la salida de los gases y humos de la combustión.

Este accesorio es accionado por el operador de la caldera para regular la cantidad de aire en la combustión, al permitir aumentar (al abrir) o disminuir (al cerrar) el caudal. Generalmente se usa en combinación con la puerta del cenicero.

TAPAS DE REGISTRO O PUERTAS DE INSPECCIÓN

Son aberturas que permiten inspeccionar, limpiar y reparar la caldera. Existen dos tipos, dependiendo de su tamaño:

- Las puertas hombre (manhole).
- Las tapas de registro (handhole).

La puerta hombre por sus dimensiones permite el paso de un hombre al interior de la caldera. Las tapas de registro por ser de menor tamaño sólo permiten el paso de un brazo.

PUERTAS DE EXPLOSIÓN

Son puertas metálicas con contrapeso o resorte, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión.

CAMARA DE AGUA

Es el espacio o volumen de la caldera ocupado por el agua. Tiene un nivel superior máximo y uno inferior mínimo bajo el cual, el agua, nunca debe descender durante el funcionamiento de la caldera.

CAMARA DE VAPOR

Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara.

En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión- Por esta razón algunas calderas tienen un pequeño cilindro en



la parte superior de esta cámara, llamado " domo" y que contribuye a mejorar la calidad del vapor.

CÁMARA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA

Es el espacio comprendido entre los niveles máximo y mínimo de agua. Durante el funcionamiento de la caldera se encuentra ocupada por vapor y/o agua, según sea donde se encuentre el nivel de agua.

SELECCIÓN DE CALDERAS

Para asegurar la selección correcta del equipo para producir vapor (o agua caliente), hay que considerar una serie de variables. Una instalación satisfactoria refleja un alto sentido de responsabilidad; por el contrario, una selección inadecuada ocasiona problemas que a la larga afectan a todos los interesados.

FACTORES PREDOMINANTES PARA LA SELECCIÓN DE CALDERAS

- Cantidad y tipo de vapor requerido.
- Combustible disponible.
- Exigencias futuras.
- Régimen de consumo.
- Utilización diaria.

REQUISITOS

Por otra parte, el usuario espera que el equipo reúna ciertos requisitos básicos, que incluyen lo siguiente:

- Seguridad en el servicio.
- Sencillez.
- Bajo costo de adquisición, operación y mantención.
- Servicio adecuado.
- Entrega inmediata.

La gran variedad de diseños y tipos de equipos que se ofrecen en la actualidad, hacen de la selección de la caldera un problema bastante complejo. Pero por otro lado esta abundancia, ha permitido la obtención de una caldera adecuada para cada caso. A continuación daremos una guía muy general para la selección de calderas basados en los diferentes factores enumerados anteriormente.



Si en una industria se desea instalar una caldera donde se sabe que el consumo es irregular, es decir, que hay momentos de gran demanda alternados con otros de poco o ningún consumo, la caldera más recomendable será una del tipo de gran volumen de agua.

En aquellos casos en que la demanda es pareja en toda la jornada de trabajo, la caldera recomendable será una igneotubular, de tubos múltiples de humo, ya que tienen alto rendimiento y buena producción de vapor.

ACCESORIOS DE CALDERAS

a) Accesorios de Observación.

- Indicadores de producción de vapor.
- Indicadores de consumo de combustible.
- Indicadores de consumo de agua.

b) Accesorios de Seguridad.

c) Accesorios de alimentación de agua.

Varios: Sopladores de hollín, limpia tubos mecánicos, atizadores, rastrillos, escoradores, barrotes y escobillas limpia tubos.

e) Accesorios de alimentación de combustible

f) Accesorios recuperadores de calor

- Economizadores.
- Calentadores de aire.

g) Accesorios de control del grado de calentamiento del vapor.

De sobrecalentadores o saturadores o atemperadores.

h) Accesorios de control automático.

- Control de presión o presostato.
- Control de temperatura o termostato.
- Control de bajo nivel de agua.
- Control de aire.
- Control de la llama.
- Control del encendido.



A continuación se verá en forma más detallada cada uno de los accesorios mencionados:

ACCESORIOS DE OBSERVACIÓN

INDICADORES DE NIVEL DEL AGUA

Cada caldera debe tener a lo menos dos indicadores de nivel de agua y, al menos uno debe ser del tipo tubo de vidrio (observación directa). El otro puede ser de grifos o llaves de prueba. El indicador de nivel de agua de observación directa, consiste en dos conexiones de metal, comunicadas una a la cámara de vapor y la otra a la cámara de agua de la caldera.

Exteriormente están unidas por medio de un tubo de vidrio que indica el nivel de agua que hay en el interior de la caldera.

El tubo de nivel de agua debe estar en la parte más visible para el Operador de Caldera. Si está a más de tres metros de altura se debe colocar inclinado hacia adelante para facilitar su visión.

Las empaquetaduras de las conexiones deben ajustarse cuando la caldera esta con vapor.

Esta operación debe hacerse con mucho cuidado para no quebrar el tubo de vidrio y evitar lesiones por quemaduras.

Cuando cambie el tubo de vidrio o necesite apretar las empaquetaduras, cierre previamente las válvulas de conexión con la caldera. Tenga cuidado de volver a abrir las válvulas una vez que termine la reparación.

a) Pruebas del tubo de nivel de agua.

Prueba de agua.- Cierre la válvula que comunica con la cámara de vapor (en la Fig. N ° 1) y abra la que comunica con la cámara de agua (B). El agua debe Llenar el tubo de vidrio.

Al abrir la llave de desagüe (C) que comunica el tubo con la atmósfera, se vacía el tubo y debe seguir saliendo agua.

Prueba de vapor.- Abra la válvula (A) que comunica con la cámara de vapor. Cierre la llave que comunica con la cámara de agua (B). Al abrir la llave de desagüe (C) sólo debe salir vapor.



b) Fallas en los tubos de nivel de agua.- Pueden presentarse los siguientes problemas:

Conductos tapados con sedimentos. Esto se comprueba si al abrir la llave A y C no sale vapor y /o si al abrir las llaves B y C no sale agua. Cualquiera de las conexiones que se tape el tubo indicará un nivel falso.

Es especialmente peligroso cuando se tapa la conexión con la cámara de vapor. En este caso el tubo se llenará con agua aun cuando el nivel real en la caldera sea menor. Esto puede producir recalentamiento de la caldera.

- **Fuga por las empaquetaduras.** Cualquier fuga de agua o vapor por las empaquetaduras debe repararse de inmediato para evitar quemaduras del tubo o del personal.
- **Desgaste de tubos.** El tubo de vidrio se gasta por las condiciones naturales de su uso. Deben revisarse periódicamente y ante cualquier indicio de desgaste deben cambiarse de inmediato.

Los grifos de prueba deben estar siempre en buenas condiciones de uso: su objetivo es reemplazar al tubo de observación directa cuando éste se quiebra o tiene fallas de otra naturaleza.

INDICADORES DE PRESIÓN

El más usado de ellos es el manómetro, que es un instrumento destinado a medir la presión efectiva que existe dentro de una caldera. Jamás debe operarse una caldera que no tenga el manómetro adecuado y en buenas condiciones

El manómetro está conectado a la cámara de vapor de la caldera a través de una cañería curva, con forma U o S, de modo que sobre él actúe agua y no vapor. El objeto de la curva es evitar que llegue vapor vivo al interior del mecanismo, para que no se deforme con el calor y pierda su exactitud.

a) Recomendaciones Generales.

- La ubicación del manómetro debe ser tal que impida su calentamiento a más de 50 °C exterior.
- Siempre debe estar marcado con rojo, en la esfera, el punto exacto de la presión máxima autorizada.

- La capacidad del manómetro debe ser de a lo menos una y media vez la presión autorizada de trabajo (casos prueba hidráulica de la caldera).
- Entre el manómetro y la caldera debe haber una llave de paso que permita el cambio del instrumento. Esta llave debe estar siempre abierta para evitar falsas indicaciones de presión.
- La cañería curva debe revisarse periódicamente para evitar acumulación de sedimentos que puedan impedir el libre paso del vapor.
- Debe eliminarse cualquier filtración en la línea de conexión del manómetro para evitar indicaciones falsas.
- Debe tenerse la precaución de que el diámetro del manómetro sea el adecuado al tamaño de la caldera.
- Periódicamente debe controlarse el funcionamiento del manómetro y regularse si es necesario.

b) Reemplazo del Manómetro. No se debe mantener en servicio un manómetro cuando presente alguno de los siguientes defectos:

- Falta de vidrio o vidrio quebrado.
- Números de la esfera borrados.
- Indicación de presión cuando la caldera está fuera de servicio.
- Llave de conexión no funciona correctamente.
- Cañería de conexión sin su curva recomendada.

En calderas de calefacción por agua caliente se usa el altímetro, que marca directamente la presión en metros de columna de agua.

ANALIZADORES DE GASES DE LA COMBUSTIÓN.

Son aparatos que sirven para controlar la calidad de la combustión dentro del hogar, a través del análisis de los gases que salen por la chimenea.

En el proceso de combustión se desprenden ciertos gases oxígeno (O_2), anhídrido carbónico (CO_2) y monóxido de carbono (CO). Estos gases se analizan al salir por la chimenea determinando el porcentaje de cada uno de ellos. Según sea el tipo de combustible que se queme, existen porcentajes bien definidos para cada tipo de gas cuando la combustión es correcta.

Algunos valores generales que se recomiendan para tener una combustión completa, sin pérdida de calor ni eficiencia son:



C02 OXIGENO 12% MÍNIMO

O2 CARBÓNICO 6% MÁXIMO

CO MONÓXIDO CARBONO 0% (no debe estar presente)

INDICADORES DE TEMPERATURA

a) Termómetros.- Son instrumentos destinados a medir la temperatura, ya sea del agua de alimentación, del vapor, de los gases de la combustión, del petróleo u otras. Se usa para medir temperaturas de hasta unos 500 ° C.

El termómetro más común es el de Mercurio, ya que éste se expande y contrae considerablemente con los cambios de temperatura sin llegar a congelarse ni evaporarse.

Se puede usar a distancia usando un tubo capilar flexible conectado a un Termómetro tipo reloj ubicado en el tablero de Operación.

b) Pirómetros.- Estos instrumentos se usan para medir temperaturas más altas (sobre 500 °C). Generalmente son del tipo de termocuplas (termopares) que consisten en dos metales diferentes unidos y en contacto cerrado, los que son conectados por conductos eléctricos a un galvanómetro.

La diferencia de voltaje que se produce al calentar dos metales diferentes se indica en un dial en grados Celsius (°C) o grados Fahrenheit (°F).

ACCESORIOS DE SEGURIDAD

VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Tienen por objeto dar salida al vapor de la caldera cuando éste sobrepasa la presión máxima de trabajo. Todas las calderas deben tener una o más válvulas de seguridad.

Las válvulas de seguridad deben ser capaces de dar salida al vapor que produce la caldera, aún sin haber consumo de vapor. Esto debe suceder antes que la presión sobrepase un 10 % de la presión de trabajo autorizada.

La válvula de seguridad debe regularse como máximo a un 6 % sobre la presión autorizada de trabajo. Deben ir conectadas directamente a la cámara de vapor de la caldera, independiente de toda otra conexión o toma de vapor.



CAPÍTULO III

SISTEMAS DE CALDERAS.

CLASIFICACIONES, PRÁCTICAS DE OPERACIÓN FUNDAMENTALES Y RESPONSABILIDADES



La operación de una planta de calderas, su mantenimiento e inspección requieren el servicio de personal técnico preparado a causa del desarrollo y mejora tecnológica en los materiales. Esto es debido también al avance en todo lo relativo a principios metalúrgicos sobre rotura de materiales, soldadura de componentes de una caldera y en reparaciones, así como al desarrollo de sensores que permitan un control más automático, y finalmente debido también a la aplicación de la informática y de los ordenadores en las operaciones y condiciones de marcha de todas las calderas. Las calderas se utilizan a muy diferentes presiones y temperaturas, con grandes variaciones de carga y distintos sistemas de combustión. Los diseñadores y fabricantes aplican los principios de transferencia térmica al diseño de sistemas de calderas, pero deben también tener amplia formación técnica en mecánica de fluidos, metalurgia, resistencia de materiales, quemadores, controles y dispositivos de seguridad para el sistema de calderas, y todo ello según las estipulaciones y requerimientos normativos y de Códigos oficiales aprobados.

Los operarios y técnicos deben familiarizarse con los controles modernos de caldera que están basados en un sistema integrado que implica controlar:

1. Flujo de carga para el calor, usos en proceso o generación de energía eléctrica.
2. Flujo o caudal de combustible y su eficiencia de combustión.
3. Flujo o caudal de aire para mantener una combustión eficiente y adecuada.
4. Flujos o caudales de agua y vapor para mantener la carga.
5. Flujo del escape de los productos de la combustión.

Las plantas automatizadas al máximo requieren el conocimiento de cómo trabaja el sistema para producir los resultados deseados y cómo hacerlo para cumplir los objetivos según el diseño. Puede necesitarse el manual de operación en condiciones de emergencia, que es cuando el conocimiento de los diferentes «bucles» de un sistema de calderas puede ayudar al operario a restablecer las condiciones de normalidad con mucha mayor rapidez. Con la llegada de los ordenadores, si un sistema de calderas está fuera de límites, el personal capacitado puede restablecerlo a través del sistema y ver si el problema está en los instrumentos o en los actuadores fuera de punto, o si un componente del sistema ha tenido una rotura o un fallo eléctrico o mecánico.



RESPONSABILIDADES FUNDAMENTALES DE LA OPERACIÓN. Los operarios deben estar familiarizados con ciertos principios fundamentales que fueron propuestos en el pasado, especialmente en los sistemas operados manualmente. Entre éstos estaban las siguientes reglas:

1. Mantenimiento y comprobación del nivel de agua, al menos una vez por turno.
2. Bajo nivel y acciones requeridas por el operario para minimizar los daños que la falta de agua puede causar.
3. Corte por bajo nivel de agua, probándolo para estar seguro de si funciona, normalmente una vez por turno. Esto incluye purga de la cámara del flotador o alojamiento del sensor, de modo que no pueda estar obstruido por depósitos internos.
4. Los grifos de prueba deben mantenerse limpios y secos. Deberían probarse una vez por turno para asegurarse de que todas las conexiones al nivel de vidrio y columnas de agua están expeditas y limpias, y así por prueba de los grifos puede determinarse el nivel real a través del vidrio.
5. Las válvulas de seguridad deberían probarse al menos una vez al mes, levantando la palanca y desplazando el asiento de la válvula suavemente. Si la válvula no despegas, es un indicativo de que el óxido o materias del agua de la caldera están obstruyendo la válvula y se necesitan correcciones o reparación. La caldera debería ponerse en seguridad y no funcionar hasta que no se elimine el defecto de la válvula de seguridad.
6. Los quemadores deberían mantenerse limpios y libres de pérdidas y con la llama ajustada de modo que no toque las paredes laterales, chapas y tubos. La seguridad de llama (por célula) debería ser comprobada cada turno para estar seguro de que están en correcto orden de funcionamiento y así prevenir y evitar explosiones en el hogar.
7. Las partes internas de la caldera deben mantenerse libres de deposiciones, lodos o aceite mediante un tratamiento adecuado del agua y procedimientos de purga para evitar recalentamientos, bolsas y depósitos en chapas, tubos y válvulas, y evitar asimismo una rotura o explosión importantes.
8. El exterior de la caldera debería mantenerse limpio y seco. No se debe permitir la acumulación de productos de soplado o de quemados, ya que éstos pueden llevar a acumulaciones y a un mal funcionamiento de controles



- y actuadores, así como a producir corrosión en diferentes partes o zonas de la caldera.
9. Las fugas o pérdidas son un signo de peligro en el sistema de la caldera y deberían ser reparadas inmediatamente por el posible peligro que implican y también porque aceleran la corrosión y desgaste de los componentes del sistema, que pueden producir cortes y paradas forzosas.
 10. Cuando ponga una caldera fuera de servicio, no acelere el proceso purgando la caldera con presión para evitar el cocimiento de los lodos y depósitos por el calor y sobre las superficies internas. Deje que la caldera se enfríe lentamente; después drene y limpie las partes superior e inferior de las superficies interiores.
 11. Las compuertas deberán mantenerse en buenas condiciones para evitar que el combustible no consumido se acumule en las cámaras de combustión del hogar y produzcan explosiones del lado de fuego*. Todas las conexiones y pertenencias de caldera deberán mantenerse en buen estado de trabajo para conseguir una marcha y funcionamiento eficientes y también prevenir y evitar paradas forzosas.
 12. Las calderas aisladas y fuera de servicio por un largo período, especialmente las calderas de acero, deberán tener sus aberturas de hombre y las de servicio manual sin las tapas, abiertas, seguido todo ello de una limpieza interior de las superficies para realizar la remoción de depósitos y otros contaminantes. La caldera deberá mantenerse seca. (Los últimos capítulos describirán los métodos utilizados para mantener una caldera seca.) Las calderas de fundición se limpian normalmente del lado de fuego y se mantienen húmedas (con agua).
 13. La purga debería hacerse después de todo encendido o puesta en marcha para limpiar los pasos del hogar de todo combustible quemado y así evitar explosiones del lado de hogar.
 14. La preparación de una caldera para inspección por consideraciones legales precisa que todas las superficies o zonas interiores críticas estén disponibles para la inspección (descrita en capítulos posteriores). Esto requiere que las tapas de las aberturas de hombres y de mano estén expeditas, con la caldera enfriada lentamente, y todas las superficies interiores y exteriores limpias, incluyendo las zonas de fuego (hogar y conducto de gases) de la caldera y

sus componentes. Todas las válvulas deberán estar cerradas para evitar que el vapor o agua entren en la caldera así aislada.

15. Mantener la prueba del tratamiento de agua de caldera y su aplicación según las directrices establecidas por los especialistas del tratamiento de agua. Esto ayudará a evitar el crecimiento de depósitos y gases disueltos en el agua de caldera eliminando la formación de ácidos que pueden provocar corrosión en el sistema de caldera y ayudar también a mantener el rendimiento de ésta.

16. Mantener la purga adecuada para remoción de lodos que se puedan desarrollar en el agua de caldera. Siga las recomendaciones del especialista en tratamiento de agua sobre la frecuencia y número de purgas.

Estas responsabilidades fundamentales son importantes para mantener una planta de calderas segura y eficiente y se consideran como las mínimas responsabilidades del operario de calderas. Los capítulos posteriores tratarán de otras características de funcionamiento, mantenimiento, inspección y reparación de calderas.

LEGISLACIÓN Y LICENCIAS LEGALES DE FUNCIONAMIENTO

A causa del peligro inherente de explosiones e incendio que existe en un sistema de caldera, muchas jurisdicciones exigen que los operarios del sistema de calderas pasen un examen escrito u oral supuesto que el candidato también tiene ya una experiencia apropiada bajo la supervisión de otro operario con carnet. La Figura A1 del anexo da un listado de las jurisdicciones estadounidenses que tienen leyes de licencia para operadores de calderas. Los departamentos jurisdiccionales y direcciones para las autorizaciones y concesión de licencia están listados en la publicación de McGraw-Hill, Manual de Servicios y Operaciones de Planta (1995).

TRANSFERENCIA TÉRMICA Y FUNCIONAMIENTO

Un estudio de termodinámica, ciclos de vapor y transferencia básica de calor puede ayudar a la operación de la caldera instituyendo un programa de trazado térmico para aumentar la eficiencia y señalar las pérdidas térmicas en el funcionamiento de la planta de calderas. El flujo térmico en una caldera puede aceptar la eficiencia de la operación y puede producir problemas de recalentamiento, como cuando se deja o permite que se acumulen capas de incrustación en los tubos. El flujo de calor puede tener lugar por conducción, convección o radiación y normalmente tiene lugar de los tres modos en el interior de la caldera.

Conducción es la transferencia de calor de una parte del material a otra o a un material con el que está en contacto. El calor se entiende como una actividad molecular o, hablando más claramente, como la vibración de las moléculas de un material. Cuando se calienta una parte de un material, la vibración molecular aumenta. Esto excita el incremento de la actividad en las moléculas adyacentes, y el flujo térmico se establece desde la parte caliente del material a las partes más frías. En las calderas tiene lugar una considerable conductividad superficial entre un fluido y un sólido, por ejemplo entre el agua y un tubo o entre el gas y un tubo, además de la conductividad a través del metal de un tubo, chapa u hogar.

Mientras la conductancia superficial juega una parte vital en el rendimiento de la caldera, también puede conducir a fallos o roturas metálicas cuando las superficies de calefacción se recalientan, como puede ocurrir cuando las superficies están aisladas por las incrustaciones. La conductancia o conductividad superficial, cuando se expresa en BTU (o kcal) por pie cuadrado (o in²) de superficie calefactora para una diferencia de 1 °F (ó 1°C) de temperatura del fluido y de la superficie adyacente, se conoce como coeficiente superficial o coeficiente pelicular. La Figura 3.1 muestra unas zonas de remanso cercanas al tubo donde el coeficiente pelicular reduce la transferencia térmica.

El coeficiente de conductividad térmica se define como la cantidad de calor que fluirá a través de esta área unitaria en la unidad de tiempo si el gradiente de temperatura a través de esta área es la unidad. En física, las unidades se expresan como BTU por hora por pie cuadrado y grado Fahrenheit por pie (kcal por hr y metro cuadrado y grado centígrado por metro). Expresada matemáticamente, la tasa de transferencia de calor por conducción a través de un área A y para un gradiente de grados centígrados por metro T/L, es: T

$$Q = kA \frac{T}{L} \dots\dots\dots \text{Fórm. 01}$$

Donde: k = coeficiente de conductividad térmica.

Nótese que k varía con la temperatura. Por ejemplo, el acero dulce a 32 °F (0 °C) tiene una conductividad térmica de 36 BTU/hora/pie cuadrado/°F/pie, mientras que a 212 °F (100 °C) es de 33.

La convección es la transferencia de calor a o desde un fluido (líquido o gas) fluyendo hacia o sobre la superficie de un cuerpo. Con mayor precisión, se define

como libre o forzada. La convección libre es la que produce circulación del fluido de transferencia debido a una diferencia de densidad resultante de los cambios de temperatura.

Por ejemplo, en la Figura 3.1 el agua calentada y el vapor ascienden desde la izquierda y son desplazados por el agua más fría (y más pesada) de la derecha. Esto produce convección libre de calor (transferencia de calor) entre el calor de un lado del tubo en U y el agua fría del otro lado. Ahora, la conducción tiene lugar primero entre la película gaseosa y el metal del tubo, después al agua. Pero si el agua no circula, dará por resultado una igualación de las temperaturas. La transferencia de calor entonces cesaría.

La convección forzada tiene lugar cuando la circulación del fluido es positiva por algún medio mecánico significativo, como una bomba de agua o un ventilador para los gases. La transferencia de calor por convección está pues ayudada mecánicamente, en el caso de la convección forzada.

Añadiendo superficie de caldera puede aumentar la absorción de calor, pero como se ve en la Figura 3.1c, el gradiente de temperatura caerá más y más. Así pues en algún punto la ganancia en eficiencia será mucho menor que la requerida por la circulación forzada y se incrementará con la adición de superficie calefactora por convección.

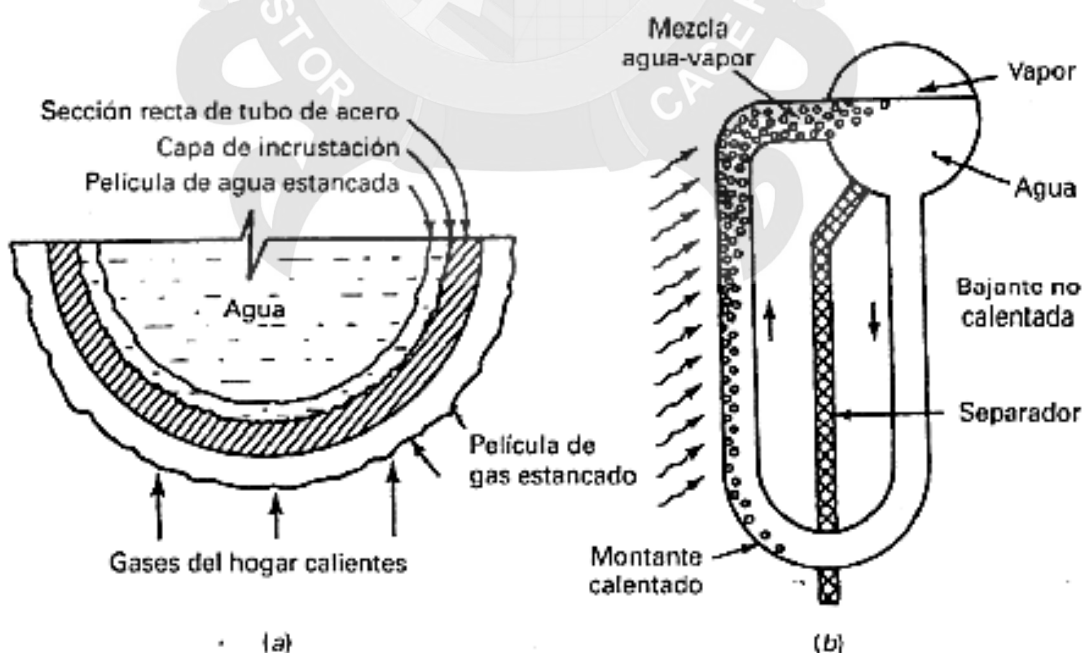


Figura 3.1. Factores que afectan a la transferencia térmica en componentes de calderas.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.



El circuito hidráulico de una caldera consta de vías de flujo de agua creado por la diferencia entre las alturas o columnas de agua y de mezcla agua-vapor. El flujo en los tubos y montantes está inducido por la diferencia en la densidad del agua y en las mezclas agua-vapor. El agua más pesada fluirá a la parte inferior mientras que la mezcla agua-vapor asciende en la caldera por las vías agua-vapor. A mayor presión el vapor, mayor densidad adquiere, lo que da como resultado una pérdida de flujo a medida que el vapor se aproxima en densidad a la del agua. Ésta es la razón por la que se usan las bombas para promover la circulación en calderas de muy alta presión.

Nótese que en la Figura 3.2a de la página siguiente se requiere más superficie de tubo a baja presión que a presión elevada para que exista la misma circulación. Pero la fuerza que produce la circulación es menor a alta que a baja presión. Esto implica el cambio en el peso específico del agua y vapor a medida que aumenta la presión. La mezcla realmente pesa menos en libras por pie cúbico (kg por metro cuadrado) a presiones elevadas. Por ejemplo, en la Figura 3.2b, a la presión crítica de 3206,2 psia (224,4 kg/cm²), el agua y el vapor tienen el mismo peso específico. Las pérdidas por rozamiento debido al flujo son generalmente menores a presión elevada. Esto es debido fundamentalmente al flujo más laminar, o en líneas de corriente, y a la menor turbulencia del flujo en los tubos.

Cuando la ebullición tiene lugar en un tubo, se forman burbujas de vapor y se liberan de la superficie en contacto con el líquido. Esta acción burbujeante crea vacíos (Fig. 3.2c) de tipo renovado a causa de la rapidez de la acción. La presión tiene un gran efecto sobre la ebullición y la tasa de transferencia térmica. Con altas presiones (Fig. 3.2d) las burbujas tienden a dar vía de salida a lo que se llama coeficiente pelicular con el que la película de vapor cubre la superficie a calentar. Este fenómeno es muy crítico en el funcionamiento de la caldera, produciendo a menudo fallos y roturas en los tubos de agua debido al estancamiento, incluso aunque el nivel de vidrio señale el nivel correcto. Además está implicada la formación de incrustaciones e impurezas a lo largo de la superficie de ebullición de un tubo.

La radiación es una forma continua de intercambio de energía por medio de ondas electromagnéticas sin cambio en la temperatura del medio interpuesto entre los dos cuerpos.

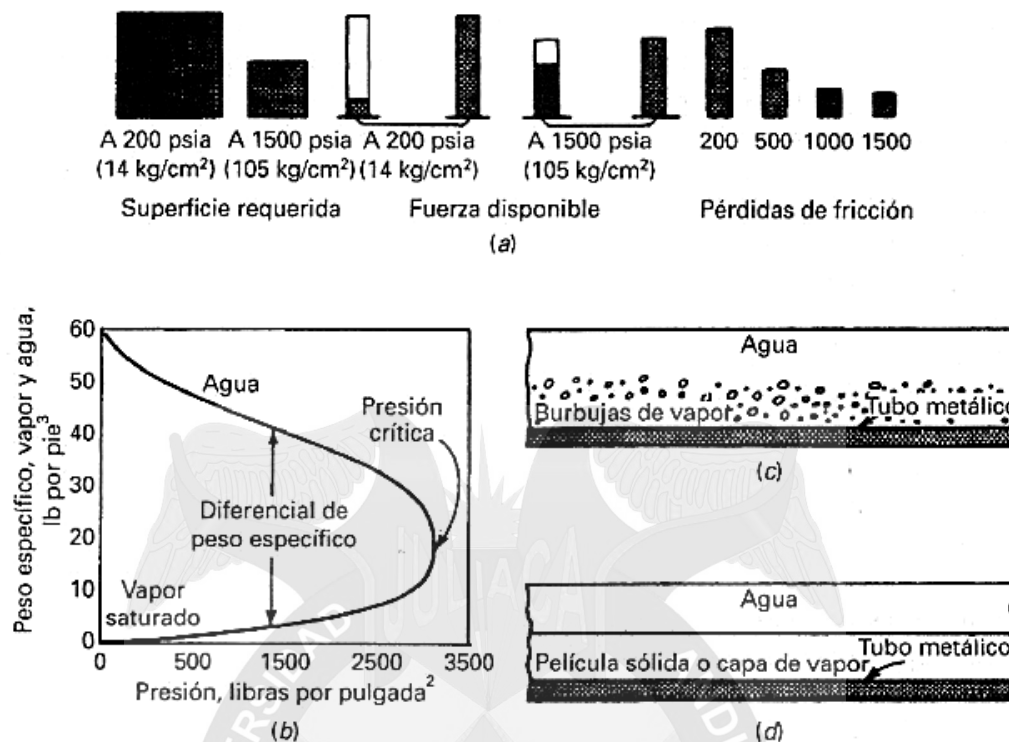


Figura 3.2. Efecto de la presión sobre la tasa de circulación.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. *Manual de calderas.*

La radiación está presente en todas las calderas. De hecho, todas las calderas utilizan los tres modos de transferencia térmica: conducción, convección y radiación.

Propiedades del vapor y sistemas de caldera

Una breve revisión de algunas propiedades del vapor ayudarán también a diferenciar los distintos sistemas de calderas. Una tabla de constantes del vapor es necesaria para calcular la eficiencia de la caldera. La norma en Estados Unidos es el libro «Propiedades Termodinámicas del Vapor», de Keenan y Keyes, publicado por la editorial John Wiley & Sons Inc., de Nueva York. Para los datos basados en la temperatura utilice la tabla I de la Figura A2 del anexo Use la tabla 2 si usted conoce la presión. Todas las presiones de estas tablas son absolutas. Para obtener la presión absoluta, añada 1 kg/cm² a la presión manométrica (o bien 14,7 psi a la presión en unidades americanas).

Para las propiedades del vapor recalentado, use la tabla 3 de la Figura A2 del anexo. Esta tabla de vapor sobrecalentado debe utilizarse con la presión absoluta (manométrica más 15 psi) y con la temperatura total del vapor, no los grados de recalentamiento.



Esta temperatura total es la temperatura de saturación (también dada en las tablas) más los grados de sobrecalentamiento*.

Entalpía significa el contenido calorífico del fluido. En relación con el agua y el vapor, hay tener en cuenta tres entalpías:

1. La entalpía del líquido saturado (en BTU/libra o kcal/kg) es el contenido calorífico del agua a una presión y temperatura determinadas.
2. La entalpía de evaporación (BTU/libras o kcal/kg) es el calor requerido para evaporar 1 libra de agua (1 kg) pasando a vapor a esa presión y temperatura.
3. La entalpía del vapor saturado (BTU/libra o kcal/kg) es el contenido calorífico del vapor saturado a la presión y la temperatura que están siendo consideradas.

La entalpía del vapor saturado es, por tanto, la suma de la entalpía del líquido saturado y la de evaporación, o contenido total calorífico del vapor saturado en BTU/libras o kcal/kg.

Las Tablas 1 y 2 de la Figura A2 del anexo dan las propiedades del agua y del vapor saturado. La única diferencia es que en la Tabla 1 entramos con la temperatura de caldera, mientras que en la Tabla 2 entramos con la presión de caldera. Por ejemplo la Tabla 1 muestra que para que el agua hierva a 100 °F (37,77 °C) La presión absoluta debe ser de 0,45 psi (0,0665 kg/cm.). La Tabla 2 muestra que a 40 psi (2,8 kg/cm.), el agua hierve a 267 °F (130,55 °C). No es necesario utilizar todos los dígitos dados en la tabla. La mayoría del trabajo práctico no lo necesita. Los ingenieros raramente necesitan cifrar las temperaturas del agua tan aproximadas hasta la fracción más cercana a la fracción de grado, ni los calores o entalpías más aproximadas que a 1 BTU (o kcal).

Líquido saturado significa agua líquida a la temperatura de saturación o ebullición; vapor saturado significa vapor a la temperatura de ebullición. Cuando el agua está hirviendo en un recipiente cerrado, ambos, el agua y el vapor que está sobre ella, están en condiciones de saturación. El vapor está saturado cuando es generado por una caldera sin sobrecalentador. El vapor saturado significa vapor que no contiene agua líquida (o antes del sobrecalentador) o sea, todavía a la temperatura de ebullición. Nótese que la presión absoluta es presión manométrica más 15 libras/pulgada (1 kg/cm.). Ahora, en la Tabla 2 se lee sobre la línea de 50 psia (35



psia más manométrica o $3,5 \text{ kg/cm} = 2,5 \text{ kg/cm}^2$ más manométrica). La temperatura de ebullición es 281°F ($138,3^\circ\text{C}$). A esta temperatura, una libra de agua ($0,45 \text{ kg}$) ocupa $0,071$ pies cúbicos ($0,002$ metros cúbicos) y 1 libra de vapor saturado ($0,45 \text{ kg}$) llena $8,51$ pies cúbicos (241 litros). El volumen específico está en pies cúbicos por libra de vapor o agua (metros cúbicos/kg), así pues, se necesitan 250 BTU (63 kcal) para calentar una libra de agua ($0,4536 \text{ kg}$) desde 0°C hasta el punto de ebullición, y otras 924 BTU (233 kcal) para evaporarla, haciendo un total de 1174 BTU ($652,22 \text{ kcal/kg}$).

La presión de vapor es la presión de la fase gaseosa o vapor de un sólido o un líquido sobre la fase líquida, para una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentra en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas. Este fenómeno también lo presentan los sólidos; cuando un sólido pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido (proceso denominado sublimación o el proceso opuesto llamado sublimación inversa) también hablamos de presión de vapor. En la situación de equilibrio, las fases reciben la denominación de líquido saturado y vapor saturado. Esta propiedad posee una relación inversamente proporcional con las fuerzas de atracción intermoleculares, debido a que cuanto mayor sea el módulo de las mismas, mayor deberá ser la cantidad de energía entregada (ya sea en forma de calor u otra manifestación) para vencerlas y producir el cambio de estado.

Código de pruebas ASME. Éste es un procedimiento para determinar la producción de las calderas grandes e incluye cálculos de balance térmico. Se requiere calcular la producción y eficiencia por diferencia o sustracción a partir de la energía del combustible de todas las pérdidas que tienen lugar en una unidad generadora de vapor, tales como:

- Pérdidas debidas a la humedad del combustible.
- Pérdidas debidas al agua que puede formarse del hidrógeno del combustible.
- Pérdidas debidas a la humedad del aire de combustión utilizado.
- Pérdidas debidas al calor, o BTU (kcal) arrastradas por los gases a la chimenea.
- Pérdidas debidas a la combustión incompleta del carbón en el combustible.



- Pérdidas debidas a los combustibles no consumidos en el residuo sólido o cenizas.
- Pérdidas debidas al hidrógeno e hidrocarburos no quemados del combustible.
- Pérdidas debidas a la radiación, fugas y otras pérdidas no tenidas en cuenta.

En este proyecto se explica y cita algunos métodos de cálculo de la eficiencia de calderas y los sistemas utilizados para aumentar la eficiencia tal y como se aplican a las plantas de calderas más pequeñas.

DEFINICIONES DE CALDERA

Las siguientes definiciones de caldera generalmente se encuentran en forma de leyes estatales y códigos de caldera referentes a requisitos de instalación o inspección, así como leyes de ingeniería para operar este tipo de equipos.

Una caldera es un recipiente a presión cerrado en el que se calienta un fluido para uso externo del mismo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de combustibles (sólido, líquido o gaseoso) o por utilización de la energía nuclear o eléctrica.

Una caldera de alta presión es aquella que genera vapor a una presión mayor de 15 psig (1,05 kg/cm²) manométricos (1,05 atmósferas efectivas o manométricas). Por debajo de esta presión se clasifican como calderas de vapor de baja presión. Las pequeñas calderas de alta presión se denominan calderas miniatura según la normativa de Estados Unidos.

De acuerdo a la sección 1 del código de calderas y recipientes a presión de la ASME (American Society of Mechanical Engineering) una caldera miniatura de alta presión es una caldera de alta presión que no excede de los límites siguientes: 16" (406,4 mm) de diámetro interior de virola (o chapa envolvente cilíndrica); cinco pies cúbicos (0,1415 tn²) de volumen bruto de virola y aislamiento; y 100 psig (7 kg/cm² efectivos o manométricos) de presión. Si se exceden estos límites, se trata de una caldera de potencia. La mayoría de los estados en Estados Unidos siguen esta definición. Los requisitos de la soldadura para estas calderas pequeñas no son tan severos como para las grandes.

Una caldera de potencia es una caldera de vapor de agua o de fluido que trabaja por encima de 15 psig (1,05 kg/cm²) y excede el tamaño de una caldera miniatura. Esto



también incluye el calentamiento de agua caliente o calderas de agua caliente que funcionan por encima de 160 psi (11,2 kg/cm²) o 250 °F (121,1 °C). Las calderas de potencia también se llaman calderas de alta presión. Una caldera de baja presión se define como una caldera de vapor que trabaja por debajo de 15 psig (1,05 kg/cm²) de presión o una de agua caliente que funciona por debajo de 160 psig (11 kg/cm²) o 250 °F (121 °C).

Una caldera de calefacción por agua caliente es una caldera que no genera vapor, pero en la cual el agua caliente circula con propósitos de calefacción y después retorna a la caldera y que trabaja a presiones que no exceden de 160 psig (11,2 kg/cm²) o de una temperatura de agua no mayor de 250 °F (121 °C) en o cerca de la salida de caldera. Estos tipos de calderas se consideran calderas de calefacción

Una caldera de suministro de agua caliente o, más brevemente dicho, una caldera de agua caliente, está completamente llena de agua y suministra agua caliente para usarse en el exterior de ella (sin retomo) a una presión que no excede de 160 psig (11,2 kg/cm²) efectivos o a una temperatura de agua que no pase de 250 (121 °C). Estos tipos de caldera se consideran también calderas de baja presión, construidas según los requisitos de la Sección IV (calderas de calefacción) del código ASME. Si se sobrepasan la presión o temperatura, estas calderas deben diseñarse como calderas de alta presión.

Una caldera de calor perdido utiliza subproductos térmicos como gases de hornos de laminación o siderurgia, gases de escape de una turbina 'Ce gas o subproductos de un proceso de fabricación. El calor residual se pasa por unas superficies de intercambio térmico para producir vapor o agua caliente para uso convencional. Las mismas normas básicas del código ASME de construcción se aplican a todas calderas de recuperación de calores perdidos al igual que se aplican a las calderas calentadas por combustibles convencionales, y los equipos auxiliares y de seguridad normalmente requeridos en una caldera se precisan también para una unidad de calores perdidos.

Los ingenieros prefieren utilizar el término generador de vapor en vez de caldera de vapor, porque el término caldera se refiere al cambio físico del fluido contenido, mientras que generador de vapor cubre la totalidad del aparato en el que el cambio físico está teniendo lugar. Pero en su utilización normal, ambos términos son básica-



mente lo mismo. La mayoría de las leyes estatales están aún escritas. bajo la vieja nomenclatura básica de calderas.

Una caldera compacta es una caldera completamente montada en fábrica, de tubos de agua, de tubos de humos o de fundición, e incluye quemador, controles y elementos de seguridad. Una caldera montada en fábrica es más barata que una unidad montada en campo, de la misma capacidad de producción de vapor. Mientras que una caldera montada en fábrica no es una caldera fuera de serie, generalmente puede montarse y entregarse mucho más rápidamente que una caldera montada en campo, los tiempos de instalación y puesta en marcha son sustancialmente más cortos. Los trabajos realizados en fábrica normalmente pueden ser mejor supervisados y realizados a coste más bajo.

Una caldera supercrítica o hipercrítica funciona por encima de la presión crítica absoluta de 3206,2 psi (224,43 kg/cm²) y 705,4 °F (374 °C) de temperatura de saturación. El vapor y el agua tienen una presión crítica de 224,43 kg/cm². A esta presión el vapor y el agua tienen la misma densidad, lo que significa que el vapor está comprimido tan intensamente como el agua. Cuando esta mezcla se calienta por encima de la temperatura de saturación correspondiente (de 705,4 °F (374,1 °C)) para esta presión, se produce vapor seco sobrecalentado capaz de realizar trabajo útil por su presión elevada. Este vapor seco está especialmente indicado para mover turbogeneradores. N. del T.: En España, pertenecientes a la categoría C.

Las calderas de presión supercríticas son de dos tipos: de paso directo y de recirculación. Ambos tipos operan en el rango por encima de los 224,43 kg/cm² y 374 °C. En este rango las propiedades del líquido y del vapor saturado son idénticas; no hay cambio en la fase líquido-vapor por lo que no existe nivel del agua y, por lo tanto, no se precisa calderín.

Las calderas se clasifican también por la naturaleza de los servicios prestados.

Las clasificaciones tradicionales son: estacionaria, portátiles, de locomotora y marinas, definidas como sigue. Una caldera estacionaria es la instalada permanentemente en una posición fijada en un lugar. Una caldera portátil está montada sobre un camión, barco, pequeño bote de río u otro aparato móvil. Una caldera de locomotora es una caldera diseñada especialmente para vehículos de tracción autopropulsados sobre raíles (también se usa para servicio estacionario). Una caldera marina es normalmente una caldera de tipo especial de cabezal bajo

destinada para barcos de carga y pasajeros con una capacidad de vaporización inherente rápida.

El tipo de construcción también diferencia las calderas como sigue: las calderas de fundición son unidades de calefacción de baja presión construidas por secciones de fundición a presión de acero, bronce o latón. Los tipos normales fabricados son clasificados por el modo en que se disponen o ensamblan las secciones de fundición por medio de conectores o niples, colectores exteriores y manguitos roscados. Hay tres tipos de calderas de fundición:

1. Calderas verticales de fundición de secciones colocadas o montadas verticalmente una encima de otra, similar a los pancakes con accesorios de conexión que unen las secciones.
2. Calderas horizontales de fundición por secciones conectadas o ensambladas horizontalmente de modo que las secciones se mantienen juntas como rebanadas en, una hogaza de pan (son las calderas de calefacción más conocidas y utilizadas en España).
3. Pequeñas calderas de fundición también construidas en una pieza o molde simple de pieza única. Éstas son generalmente pequeñas calderas usadas principalmente en el pasado para servicios de agua caliente. Véase el Capítulo 3 sobre calderas de fundición para más detalles constructivos.

Las calderas de acero pueden ser de alta presión o de baja presión y, hoy en día, son normalmente de construcción soldada. Están divididas en dos clases:

1. En las calderas de tubos de fuego o tubos de humos, los productos de la combustión pasan a través del interior de los tubos con el agua rodeándolos por el exterior. Las calderas de tubos de humos se describen con detalle en los capítulos posteriores.
2. En las calderas de tubos de agua, el agua pasa o circula por el interior de los tubos y los productos de la combustión rodean a los tubos por su parte exterior. Las calderas de tubos de humos generalmente son utilizadas para capacidades hasta 22.000 kg por hora y presión de 21 kg/cm². Por encima de esta capacidad y presión, se usan las calderas de tubos de agua.

Las calderas de tubos de humos o pirotubulares se clasifican como calderas de virolas de chapa o cilíndricas. El agua y el vapor están recludos en la virola o cilindro de chapa. Esta disposición limita el volumen de vapor que puede generarse



sin hacer las virolas demasiado grandes y, con respecto a la presión, el espesor de chapa requerido sería demasiado grande como para fabricarlas en altas presiones.

Terminología de la capacidad o producción de calderas. La capacidad o la potencia de caldera puede expresarse en HP (caballos), kg/hora (o libras/hora), kcalorías/hora (BTU/hora) y, para calderas de centrales, la capacidad de generación tan grande puede darse en megavatios de electricidad. Las calderas de calefacción pueden lavarse en HP, libras/hora (kg/hora) y BTU/hora (kcal/hora), pero sus capacidades son también descritas en términos relacionados con la superficie de transferencia térmica necesaria para un espacio. Por ejemplo, metros cuadrados equivalentes (o pies cuadrados) de superficie radiante de vapor es una medida del área de transferencia térmica necesaria en un edificio que utiliza vapor como fuente de calor.

Un caballo de caldera (HP de caldera) se define como la evaporación en términos de vapor saturado seco de 34,5 libras/hora de agua (1 5,65 kg/hora) a temperatura de 100° (212 F°). Así pues, un HP de caldera, por este método. Es equivalente a una capacidad de 33,47 BTU/hora (8.435,7 kcal/hora) y se toma normalmente como una superficie de calefacción de caldera de diez pies cuadrados (0,92 metros²). Pena diez pies cuadrados de superficie calefactora en una caldera moderna genera en cualquier caso de 50 a 500 libras/hora de vapor (22,7 kg/hora a 227 kg/hora). Hoy en día la capacidad de producción de las calderas grandes está establecida en tantos kg/hora de vapor o BTU/hora (kcal/hora) o megavatios de potencia producida.

El término superficie de calefacción se usa también para definir o cifrar la capacidad de una caldera. La superficie de calefacción de una caldera es el área, expresada en metros cuadrados (o pies cuadrados) que está expuesta a los productos de la combustión. Se deben considerar las siguientes partes en la superficie de caldera para determinar la cantidad de superficie de calefacción disponible para la producción de vapor o agua caliente: tubos, cajas de humos, superficies de virola (hogar), chapas de encastramiento de tubos, colectores principales de caldera y otros. Puede hacerse una comparación de capacidades de producción basada en HP, superficie de calefacción y producción en kg/hora, suponiendo que una caldera tiene una capacidad nominal de 500 HP:

1. La superficie de calefacción sería de 5.000 pies cuadrados (464,5 m²) bajo la antigua norma de diez pies cuadrados/HP (0,929 m²/HP).



2. La capacidad de vapor en libras/hora (kg/hora) sería de:
 $500 \times 34,5 = 17.250$ libras/hora (7.825 kg/hora).
3. Para una caldera de calefacción de agua caliente, la capacidad sería de: $500 \times 33.475 = 16.737.500$ BTU/hora = 4.217.850 kcalorías/hora.

El sistema de producción en libras/hora (o kg/hora), garantizada a menudo por el fabricante, es una medida de la capacidad a la cual una caldera puede funcionar en continuo. La producción punta de una caldera durante un período de dos horas se ajusta normalmente a un 10 a 20 por 100 sobre el máximo continuo de capacidad. La producción en kg/hora (o libras/hora) normalmente se expresa en kg de vapor a la temperatura y presión de diseño de la caldera. Las calderas de baja presiones tasan también por los requisitos del código de calefacción del contratista, así como en kg/hora o kcalorías/hora.

Dispositivos protectores para sistemas de calefacción y agua caliente. El código ASME de calderas de calefacción requiere algunos dispositivos protectores mínimos en los sistemas de calefacción y ACS. Entre ellos están los siguientes:

1. Un manómetro o medidor de altura de columna de agua se necesita en la caldera de agua caliente, con una escala y dial graduada a no menos que 1,5 veces (y no más de tres veces) la presión a la que está tarada la válvula de seguridad.
2. Un termómetro o dial (circular, lineal o de capilla) se necesita en la caldera de agua caliente que esté conectado y localizado de modo que pueda leerse cuando la presión o altura de agua de la caldera sea efectiva. La graduación del termómetro debe ser en grados centígrados (en grados Fahrenheit, en Estados Unidos) y el termómetro debe situarse de modo que la temperatura del agua de la caldera se puede mirar en o cerca de la salida del agua caliente.
3. Se necesitan dos controles en las calderas automáticas de agua caliente: a) Un control operativo del límite de trabajo que corte el suministro de combustible cuando la temperatura del agua alcance el límite operativo deseado. b) Un control de límite superior que realimente el control operativo del límites y corte el suministro de combustible. Este control de límite superior está ajustado a una temperatura por encima de la de trabajo deseada, pero



debe ajustarse de modo que la temperatura del agua no exceda de 250 °F. (121 °C) en la salida de la caldera.

4. Un control de corte por bajo nivel de agua se necesita en las calderas automáticas de agua caliente alimentadas con combustible con potencias térmicas superiores a 400.000 BTU/hora (100.000 kcal/hora). Debe instalarse de forma que corte el combustible cuando el nivel de agua caiga por debajo del nivel de seguridad admisible establecido por el fabricante de la caldera.
5. Todo el circuito eléctrico de control en las calderas automáticas de agua caliente alimentadas con combustible, así como en las de calefacción a vapor, debe estar puesto a tierra positivamente y debe operarse a 150 voltios o menos. El sistema de cableado debe incluir asimismo un neutro así como equipo de puesta a tierra (cableado y «picas» de toma de tierra).
6. Una caldera de calefacción de agua caliente debe estar equipada con válvulas de seguridad de muelle aprobada por el código ASME y ajustada a o por debajo de la presión máxima admisible de la caldera. El tamaño mínimo de válvula es de 3/4" (19 mm) y el máximo permitido es de 4,5" (114,3 mm). La capacidad debe ser mayor que la de salida de caldera (marcada) pero en ningún caso deberá subir la presión más de un 10 por 100 por encima de la máxima presión admisible, si el equipo de combustión trabaja a su capacidad máxima.
7. Las calderas automáticas de combustible líquido o gaseoso y de vapor o agua caliente de calefacción deben estar equipadas con controles de seguridad de llama que corten el combustible cuando haya una combustión inadecuada en el quemador. El código ASME hace referencia a otras normas nacionales reconocidas para mayores requerimientos. Éstos normalmente comprenden la provisión de llama piloto y principal, así como ciclos de encendido, post encendido y barrido por purga.

Las válvulas de seguridad oficialmente taradas por ASME deben utilizarse en calderas de calefacción por agua caliente. Una válvula de seguridad tarada oficialmente lo está para su presión de ajuste o tarado y para su capacidad de alivio en BTU/hora (o kcal/hora).

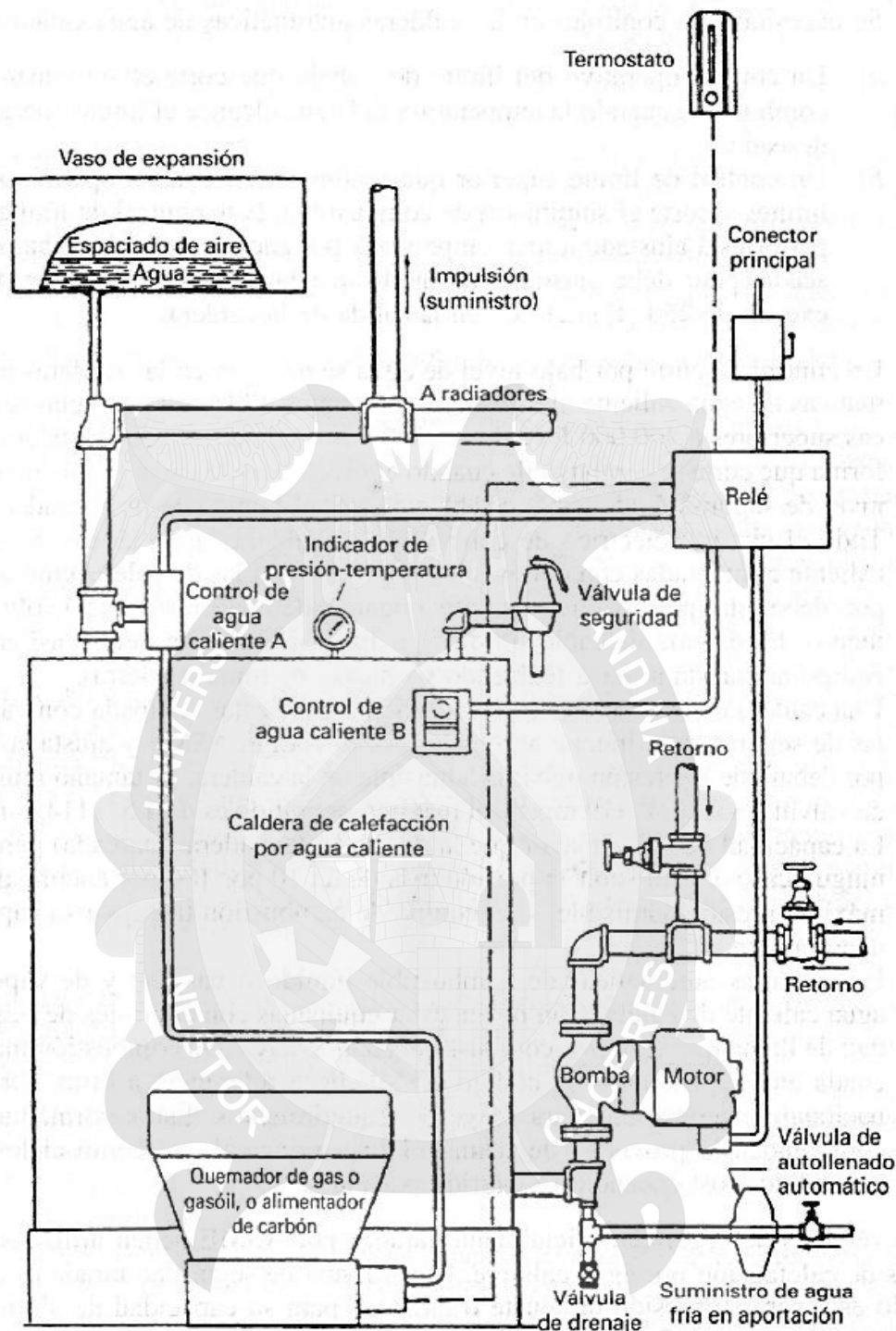


Figura 3.3. Componentes necesarios para sistema de calefacción por agua caliente.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

El nivel bajo de agua puede ocurrir en una caldera de tipo de calefacción-agua caliente por diversas razones como las siguientes: (1) pérdida de agua debida a falta de control o vigilancia en: (a) drenaje de la caldera para reparación o parada veraniega sin eliminar la posibilidad de encendido, (b) extracción de agua caliente de

la caldera; (2) pérdida de agua en el sistema de distribución a causa de: (a) fugas en la tubería causadas por roturas, dilatación o corrosión, (b) fugas en la caldera, (c) fugas a través de la bomba u otro equipo en operación; (3) descarga de la válvula de seguridad por exceso de calentamiento; (4) línea de agua de alimentación municipal obstruida o cerrada.

Además, adicionalmente a la válvula de seguridad de presión, debería instalarse un dispositivo de corte de combustible por bajo nivel de agua en toda caldera automática alimentada por combustible.

ORGANIZACIONES RELACIONADAS CON NORMATIVA

Código ASME de Calderas. El código ASME de Calderas y el Código de inspección del National Board, Asociación Nacional de inspectores de Calderas y Recipientes a Presión, en Estados Unidos, son una fuente importante de documentos para requisitos legales en los diversos estados y municipalidades que han adoptado leyes de seguridad de calderas. Adicionalmente, sirven para mantener activos los comités de calderas y recipientes a presión en orden a tener los códigos publicados al día con la tecnología en avance, así como las ediciones sucesivas del código ASME para fabricantes cualificados, montadores, suministradores de material y propietarios de plantas de energía nuclear con los sellos y marcas de código indicando que el fabricante ha recibido autorización de ASME para construir calderas y recipientes a presión según la citada normativa ASME.

Un requisito fundamental del Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión, para ser aprobado oficialmente y designado con el sello ASME, es que se debe sufrir una inspección por parte de un tercer organismo autorizado. Durante la construcción para cumplir con los requisitos normativos en vigor. La mayoría de las inspecciones por terceros son llevadas a cabo por inspectores autorizados de calderas y recipientes a presión que tienen experiencia adecuada y han pasado por un examen escrito en una jurisdicción. Deben estar empleados bien por el Estado o bien por una compañía de seguros autorizada para suscribir seguros de calderas y recipientes o presión en la jurisdicción donde se va a construir la caldera o recipiente a presión, y en algunos casos la situación de la instalación también debe considerarse.



Como requisitos uniformes para los inspectores que han sido inspirados e implementados por el National Board de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión, una caldera o recipiente a presión inspeccionada por un inspector acreditado adecuadamente por el National Board será, generalmente, aceptada por todas las jurisdicciones.

El fabricante o contratista que desee construir o montar calderas o recipientes a presión bajo la garantía de un certificado de autorización ASME debe primero ponerse de acuerdo con una agencia de inspección autorizada cuyas inspecciones serán llevadas a cabo por la agencia. Esto usualmente se arregla por ambas partes firmando un contrato por el trabajo de inspección realizado en base a unos derechos de la Agencia Fedataria.

La Figura A3. a lista los sellos a estampar editados por ASME para calderas, recipientes a presión no caldeados, calentadores de almacenaje (acumuladores) de agua, tuberías de energía y válvulas de seguridad. ASME puede suministrar detalles a los fabricantes sobre qué sellos pueden requerirse cuando se consideran componentes de fabricación como los representados por estos sellos o estampas (en alemán, «stelpen»).

National Board de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión. El Comité Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión está compuesto por los Inspectores Jefes de los estados y municipios de los Estados Unidos y provincias canadienses. Esta organización ha establecido criterios para los requisitos de experiencia de los inspectores de calderas, la promoción y conducción de exámenes uniformes y las pruebas que son utilizadas por las jurisdicciones. El NB edita comisiones para los inspectores que pasen un examen NB que son aceptados sobre una base recíproca por la mayoría de las jurisdicciones, dando así una característica de «al portador» a la credencial. La organización NB también edita un sello, denominado sello «R» para organizaciones que deseen ser certificadas como «reparadores» normalizados. Esto también se aplica a las reparaciones de válvulas de seguridad y reparaciones de vasijas nucleares a presión que también merecen un sello separado de la NB. Los inspectores de la NB deben obtener un certificado de competencia NB, que cualifica al inspector para efectuar inspecciones de campo in situ para una jurisdicción sobre la base de obtener un mandato jurisdiccional o comisión para realizar estas inspecciones de calderas y recipientes a presión.



Los que emplean a los inspectores comisionados NB deben calificarse como agencias de inspección autorizadas (en España hay entidades colaboradoras del Ministerio de Industria que realizan comisionadas estas tareas y se denominan ENICRES). Éstos son en Estados Unidos cuerpos jurisdiccionales o autorizados o compañías de seguros con licencia para ello. El inspector debe ser contratado por estas agencias por razones de responsabilidad técnica y financiera bajo la presente normativa codificada. Así existen tres tipos de inspectores comisionados. Estos inspectores hacen los informes e inspecciones legales a una o en una jurisdicción en el sentido de que una caldera o recipiente a presión es segura o insegura para trabajar o de que requiere unas reparaciones antes de poder operarse.

Otras organizaciones de aprobación. Estas organizaciones están relacionadas con todas las clases de riesgos potenciales de incendios o seguridad eléctrica. Así sus etiquetas aparecerán sobre transportes (trasiegos) de combustibles emplazados en el lugar de funcionamiento de calderas y sobre controles y cableados eléctricos. Muchas jurisdicciones y códigos contra incendios hacen referencia a estas etiquetas de cuerpos u organismos de aprobación y control legal; por otra parte estas normativas son importantes en la instalación de calderas. Underwriters Laboratory, UL (Laboratorio de asegurados), es una entidad activa en Estados Unidos en la aprobación de equipo eléctrico para diferentes aplicaciones de normativa establecida de seguridad y. si el producto las cumple satisfactoriamente, se le aplica la etiqueta UL.

Laboratorios Factory Mutual, FM, aprueba equipo sometido por fabricantes y también aprueba instalaciones finales, como conjuntos de combustión, si la instalación satisface sus normas y requisitos.

Certificación ISO 9000. Ésta es una serie internacional de normas de gestión de control de calidad publicadas en 1987 por la organización internacional para la normalización (ISO). Las compañías europeas han sido líderes en adoptar este sistema de gestión de control de calidad que establece un programa de control de calidad, un sistema manual y los medios o controles para establecer los requisitos. La ISO 9000 es paralela al código ASME en muchos casos para calderas y recipientes a presión y para documentación de componentes nucleares.

Como puede verse en la Tabla 1.1, una organización debe seleccionar la serie en que desea el certificado. Esto puede incluir su operación o trabajo total, o puede

solucionarse en áreas particulares para su certificación. Los registradores reconocidos por los auditores preparan un informe de sus hallazgos para un comité equilibrado compuesto de representantes de industrias similares. El comité decide si una aplicación para acreditar una organización es aprobada y el registrador después emite un certificado de registro para el aplicante. Este certificado detalla el alcance de la actividad del programa del aplicante, al cual se aplica la serie 9000.

ISO 9000 Listado.	Responsabilidad de gestión, principios del sistema de calidad, control y diseño de material, procedimientos de inspección prueba adecuación del equipo de medida y pruebas, manejo, almacenaje y entrega, control documentación, control de calderas, adiestramiento, métodos estadísticos utilizados, procedimientos de auditoría internos, marketing de calidad, control de compras, control de procesos, control de producción procedimientos de acción colectiva, control de investigación y desarrollo, servicio pos venta, seguridad y garantía del producto.
ISO 9001 Actividad.	Diseño, producción, instalación y servicio de producto.
ISO 9002 Actividad.	Se aplica solo producción e instalación.
ISO 9003 Actividad.	Se aplica solo a inspección formal y pruebas.
ISO 9004 Actividad.	Se aplica a la gestión de calidad y sistema de elementos necesarios para desarrollar y establecer un sistema para la actividad de calderas. Esto comprende y determina la extensión en la que a cada sistema elemental se aplica la actividad.

Tabla 3.1 Aplicación de las normas ISO

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. *Manual de calderas.*

Re auditorías periódicas se realizan por registradores externos para confirmar que la serie ISO 9000 de requisitos esté siendo cumplida y mantenida. En los Estados Unidos, grupos de auditores están listados por la Oficina Federal del Gobierno, el Instituto Nacional de Normas y Pruebas (N y ST) en Washington, DC, para certificar. La ISO correspondiente tiene una lista de cuerpos de certificación que suministran la calificación y ayuda estatal de los registros.

Regulaciones medioambientales. Las regulaciones estatales, federales y municipales afectan a los operadores de una planta de calderas. Los sistemas de combustión para caldera y sistemas de energía nuclear tienen que cumplir unos requisitos para su diseño y operación, de forma que el aire, agua y residuos finales



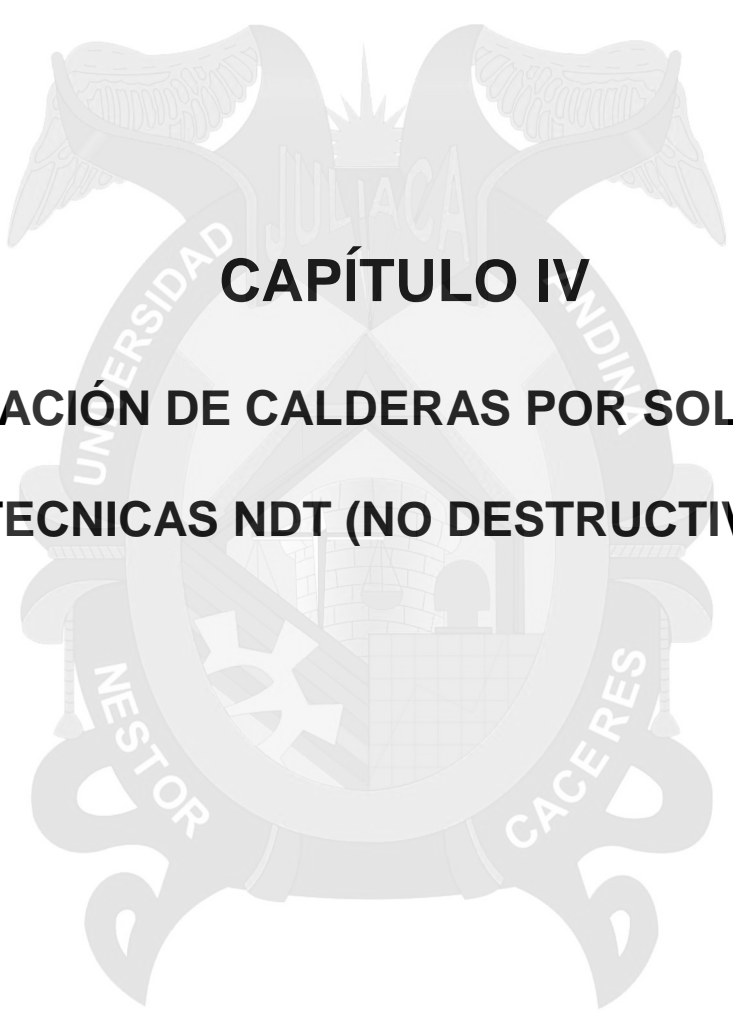
de esta planta tengan efectos mínimos sobre el medio ambiente. Las reglamentaciones generales que pueden merecer revisión por los operarios de plantas de calderas incluyen el acta de aire limpio, acta de agua limpia, regulaciones concernientes a la disposición de residuos de riesgo, PCBs, depósitos de almacenaje subterráneo con líquidos o gases peligrosos y asbesto (amianto).

Las calderas que utilizan combustibles fósiles deben ser operadas para poder controlar la cantidad de dióxido de azufre y óxido de carbono emitido a la atmósfera. La monitorización continua de emisiones de estos contaminantes se necesita ahora en las grandes calderas. La monitorización de la radiación y descarga térmica a los ríos o corrientes de agua se exige en centrales nucleares porque éstas producen más descarga térmica por unidad de potencia que las plantas de combustible fósil. Como resultado, durante el tiempo cálido, algunas centrales nucleares deben limitar su carga para evitar la violación de los límites de temperatura en las descargas térmicas impuestos por las agencias de regulación.

Los supervisores de las plantas de calderas deberían estar familiarizados con estas normas y reglamentaciones, porque ayudarán a mantener un ambiente de trabajo seguro. Por ejemplo, las normas de trabajo en espacios cerrados o confinados de la OSHA incluyen:

1. Primeras evaluaciones de temperaturas y oxígeno permitidas en espacios cerrados o confinados antes de entrar en ellos.
2. Procedimientos de suministrar ayuda de emergencia para una persona que esté en un espacio cerrado o confinado.
3. Precauciones del puesto próximo a la entrada de un espacio cerrado o confinado.

Los requisitos legales sobre equipos de calderas y plantas de energía nuclear no están ya limitados a las normas de establecimiento de una construcción segura. Han sido ampliados a los requisitos sobre controles, dispositivos para evitar explosiones del hogar y sobre medidas para limitar la polución del aire y la contaminación radiactiva. La propiedad y los operarios deben, periódicamente, revisar sus prácticas de operación y mantenimiento en orden a estar seguros de cumplir con estos requisitos legales adicionales de la jurisdicción en la que el equipo está situado.



CAPÍTULO IV

FABRICACIÓN DE CALDERAS POR SOLDADURA Y TECNICAS NDT (NO DESTRUCTIVAS)



Hay muchas fuentes documentales que proporcionan detalles, incluyendo requisitos de soldadura, para la construcción de calderas, recipientes a presión y vasijas nucleares. Cada sección del código tiene un capítulo sobre requisitos de soldadura. Por ejemplo, la Sección I, Calderas de potencia, tiene la parte PW titulada "calderas soldadas, que proporciona algunos requisitos para juntas soldadas y pruebas no destructivas que deben aplicarse como seguro de calidad de que una soldadura consistente ha sido realizada sobre un material de ese capítulo comprenden:

- Sección V, código ASME, Examen no destructivo, que proporciona detalles y requerimientos para los diferentes métodos no destructivos (NDT).
- Sección IX, Soldadura y calificaciones de refuerzos para soldadores, operadores y procedimientos de soldadura.
- ASNT's SNT-TC-1A, Práctica recomendada para cualificación y certificación de personal NDT. Esto proporciona detalles sobre calificación de los tres niveles de clasificación reconocidos por esta vía.

La sociedad americana para ensayos no destructivos, ASNT, ha publicado ahora otro nuevo documento para complementar la guía maestra SNT-TC-1^a mediante una norma de cumplimiento absoluto, y no una guía, llamada ANSI/ASNTCP-189-1991 y titulada «norma para calificación y participación del personal de pruebas no destructivas». Esto exige certificado de técnicas NDT al personal para la normativa reconocida.

CONEXIONES ROSCADAS Y EXPANDIDAS. El Código permite conexiones roscadas para la utilización en uniones de piezas de caldera, pero están limitadas a diámetros de tubo de 3" (75mm), y no pueden utilizarse para presiones de más de 100 psi (7kg/cm²).

Las uniones por expansión son usadas en tuberías, pero no pueden excederse de 6" (150mm) de diámetro exterior.

UNIONES POR SOLDADURA

La soldadura es el método clave empleado en la fabricación de calderas y recipientes de presión. Los materiales utilizados en la construcción de calderas de potencia y piezas sometidas a presión deben limitarse en aquella sección como material admisible y con la especificación correspondiente como se lista en la Sección II del Código. El acero al carbono o aleado teniendo un contenido de



carbono de más del 0.35 por 100 no puede utilizarse en construcción soldada. La soldadura requiere ciertos procedimientos, y los operarios y soldadores deben estar cualificados en orden a poder cumplir la normativa de soldadura. La NB (National Board) de inspectores exige también que la soldadura esté calificada según el Código siempre que se realizan reparaciones sobre piezas a presión. Los contratistas o reparadores pueden obtener un sello «R» de la NB si sus organizaciones pueden demostrar el cumplimiento de los requisitos de reparación NB.

El personal de operación de calderas de mantenimiento y de inspección debería tener conocimiento de trabajo del código de soldadura, porque este se ha convertido en requisito legal en muchas jurisdicciones que han adoptado los requisitos del código ASME o normas NB para reparaciones permitidas.

Métodos de soldadura. La soldadura se define como una unión por coalescencia localizada (fusión conjunta) o consolidación del metal donde se realiza una unión por calentamiento a temperatura de fusión, con o sin la aplicación de presión, y con o sin la utilización de material de relleno. El material de relleno, cuando se usa, debe tener propiedades próximas a las del metal de base, incluyendo el punto de fusión. La soldadura es aquella parte que ha sido fundida junta durante el proceso de soldadura. La junta soldada es la unión de dos o más metales producida por el proceso de soldadura. Refuerzo soldado es metal soldado en exceso sobre el estrictamente necesario para rellenar una junta y para soldar a tope la rotura o surco acanalado. Es el metal de soldadura depositada más allá de la base nivelada o superficie metálica de base lo que se considera refuerzo.

El refuerzo de soldadura está permitido por la Sección I como ayuda para tener una penetración completa de junta de los metales que están siendo soldados. Sin embargo, el Código limita la altura del proceso, dependiendo del espesor de la chapa. Por ejemplo, para un rango de espesor de chapa de 2" a 3" (50 a 75mm), el máximo refuerzo es de alrededor de 1/4" (6.25mm). El Código también exige que las superficies a soldar estén libres de estrías gruesas, surcos, solapes, lomos y valles o hendiduras para evitar la concentración de tensiones. La superficie de la soldadura deberá también ser correcta y adecuada para que pueda hacerse una buena interpretación de las pruebas radiográficas y otros test NDT que puedan ser realizados. El amolado del exceso de refuerzo de soldadura se aplica normalmente



cuando las interpretaciones de las técnicas NDT a la junta puedan presentar dificultades. Los anillos traseros si se usan sobre una junta o unión longitudinal de un tubo, virola o calderín, deben retirarse.

Los anillos traseros de una junta circunferencial pueden no tener que retirarse si se cumplen y no se exceden ciertos tamaños normalizados, y siempre y cuando no se requiera un examen radiográfico de la junta.

El método más común de soldadura de piezas a presión es por fusión del metal, siendo suministrado el calor por uno de los distintos métodos. La soldadura al arco, soldadura por gas y soldadura con termita están clasificadas como soldaduras de fusión, pero la soldadura al arco eléctrico es la más corriente.

La soldadura de arco es una fusión localizada y progresiva de los bordes unidos y presentados juntos para que fluya dicha soldadura sobre las partes metálicas base, y causada por el calor producido por un arco eléctrico entre un electrodo de metálico o varilla y el metal de base. Ambos, el material soldadura (electrodo o varilla de soldar) y el metal adyacente de base, son fundidos por el arco. Al enfriar, se solidifican, uniendo así las dos piezas con un material continuo.

En la soldadura metálica de arco, las varillas de soldadura pueden ser de dos tipos: electrodos desnudos y electrodos revestidos. La soldadura de arco en tramo liso o Llano utiliza electrodos desnudos. La soldadura de arco con escudo o protección utiliza electrodos revestidos. La razón es que el flujo o revestimiento sobre el electrodo protege al metal depositado de la oxidación (Fig. 4.1a). Así, a medida que el electrodo funde, se obtiene una soldadura más fiable que con electrodos desnudos. La soldadura metálica de arco protegido se conoce previamente con el nombre de SMAW.

Los electrodos revestidos proporcionan un gas protector para proteger la soldadura de la contaminación de la atmósfera, como oxígeno, humedad y dióxido de carbono. Estos contaminantes puedan producir porosidad, formación de grietas y burbujas de óxido de la soldadura. El gas protector se utiliza en la soldadura de arco de gas at tungsteno, soldadura de arco con gases metálicos y procesos similares que emplean electrodos desnudos de material de relleno. El gas de purga se utiliza para reemplazar el aire no deseado y otros vapores contaminantes y proteger la raíz de la soldadura sustituyéndolos por un gas que proteja de la oxidación durante la soldadura

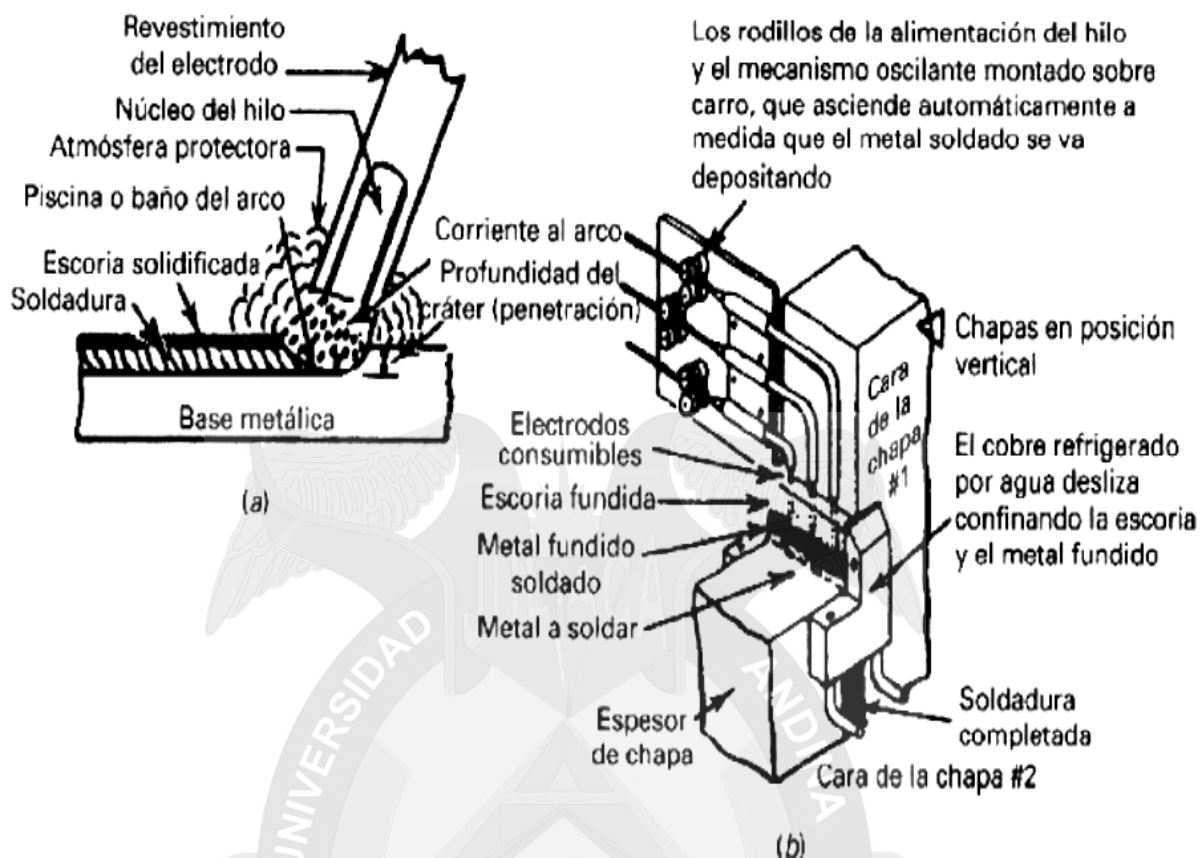


Figura 4.1. Soldadura metálica de arco.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

Se utiliza el argón para hacer de escudo protector, así como el helio. Este sistema se recomienda cuando se suelda acero inoxidable, aleaciones de níquel y la mayoría de los metales no ferrosos. En la soldadura de arco sumergido, la coalescencia (fusión conjunta) se produce por calentamiento con un arco o arcos eléctricos entre un electrodo de metal desnudo y el metal de trabajo. La soldadura está protegida por el flujo, que es una protección de material granular, fusible sobre el trabajo a soldar. No se utiliza presión y el material de relleno se obtiene del electrodo o a veces por una varilla suplementaria de soldadura.

En la soldadura al arco de tungsteno, la coalescencia se produce por calentamiento con un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el trabajo o base. La protección se obtiene de un gas o mezcla de gases (que puede contener un gas inerte). El metal de relleno normalmente se añade por separado del electrodo. Este proceso se llama también soldadura de tungsteno al gas inerte (TIG). Si no se utiliza metal de relleno, el proceso se denomina también soldadura autógena. Los electrodos de tungsteno se clasifican sobre la base de su



composición química como: de tungsteno puro, electrodo de tungsteno zirconiado, electrodo de tungsteno al boro, y así sucesivamente. La AWS (sociedad americana de la soldadura) ha desarrollado un sistema de marcaje y numeración para los diferentes tipos, desde EWP a EWG, incluyendo colores de marcaje que van del verde al gris.

La soldadura por gas es un grupo de procesos de soldadura en los cuales la coalescencia se produce por calentamiento con una llama o llamas de gas con o sin aplicación de presión. El material de relleno se añade (normalmente) a los metales de base calentados que se van a soldar. La soldadura oxiacetilénica es un proceso de soldadura por gas en el que la coalescencia se produce por calentamiento con una llama a cerca de 6.000 °F (3.300 °C), obtenida por la combustión del gas acetileno con el oxígeno a medida que se añade metal de relleno.

La soldadura por termita es un grupo de procesos de soldadura en que la coalescencia se produce por calentamiento con metal líquido sobrecalentado y escoria resultante de una reacción química entre un óxido metálico y aluminio. Normalmente no se aplica presión. El metal de relleno, cuando se utiliza, se obtiene del metal líquido. El proceso termita es útil para soldaduras muy pesadas, como piezas de 3" (76 mm) y mayores; por ejemplo se usa para soldadura de carriles en los ferrocarriles.

En la soldadura con electro escoria (véase la Figura 4.1b), las piezas son unidas en una pasada con el canal de soldadura en un plano vertical. La escoria en la parte superior del canal conduce el arco eléctrico que genera el calor requerido para fundir la escoria por flujo y el metal de relleno (soldadura de relleno). Una corriente de agua de refrigeración se utiliza para confinar el acúmulo fundido del flujo, metal de relleno y metal de base dentro de la garganta de la soldadura hasta que esté terminada y solidificada. Las tasas de depósito son elevadas con este tipo de soldadura. La soldadura se considera con estructura de grano grueso y requiere tratamiento térmico posterior para afinar la estructura del grano y zonas afectadas por el calor.

SOLDADURA A TOPE DOBLE. En la soldadura a tope doble, el metal se deposita en la garganta de la soldadura por ambos lados de la chapa, mientras que en la soldadura a simple tope el metal se deposita solo en un lado. La soldadura a tope sobre juntas longitudinales de calderines siempre está permitida, supuesto que se

usa una banda o pletina para asegurar una penetración total de la soldadura en la junta. Pero la soldadura a tope simple puede usarse solamente donde el interior (la cara interior) de la soldadura donde es inaccesible para el soldador. Sobre juntas de unión longitudinales, la pletina dorsal debe retirarse.

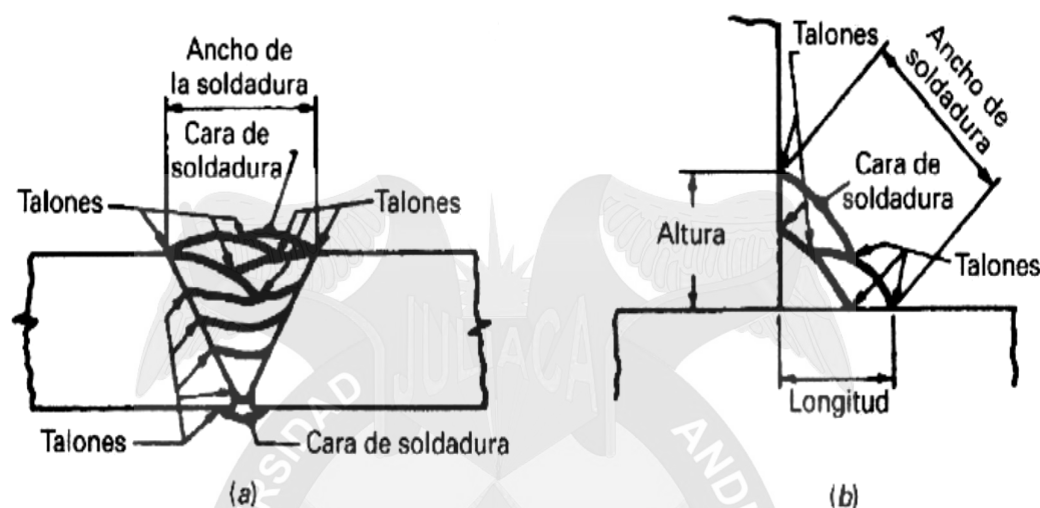


Figura 4.2. Terminología de la soldadura para soldadura a tope y con material de relleno.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

Después de que la primera cara de una doble junta soldada ha sido efectuada, la segunda cara debería limpiarse, amolarse (desgastar o pulir con muela) o limpiarse por fusión para asegurar una superficie limpia de forma adecuada, para asegurar la fusión del metal soldado sobre este lado, sin porosidad, escorias o poros. Los metales de base deberán estar limpios y libres de grasa, óxido o pintura u otras sustancias extrañas. A veces, antes de soldar, se especifica limpiar los metales base con una capa de aceite de linaza.

PROBLEMAS DE SOLDADURA. Hay ciertos problemas de soldadura que los buenos procedimientos de soldadura y soldadores expertos tratan de evitar. La Figura 4.3 lista algunos defectos comunes de soldadura y los pasos a tomar para evitarlos. Un problema muy común es el de las inclusiones de escoria. Esta es un material sólido no metálico atrapado en una soldadura o entre el metal base y la soldadura metálica. La escoria es perjudicial porque impide y aminora la resistencia de una unión soldada basada en las características del metal. La porosidad de una soldadura son los vacíos o bolsas de gas dejados en ella, como resultado de un proceso incorrecto o de dificultades durante dicho proceso. Cuando tiene Lugar la

fusión, los metales de base soldados están afectados en una zona denominada zona afectada por el calor (HAZ). La zona afectada por el calor es aquella zona del metal de base que no ha sido fundida pero donde las posibles propiedades estructurales del metal base han sido alteradas por el calor de soldadura (o corte).

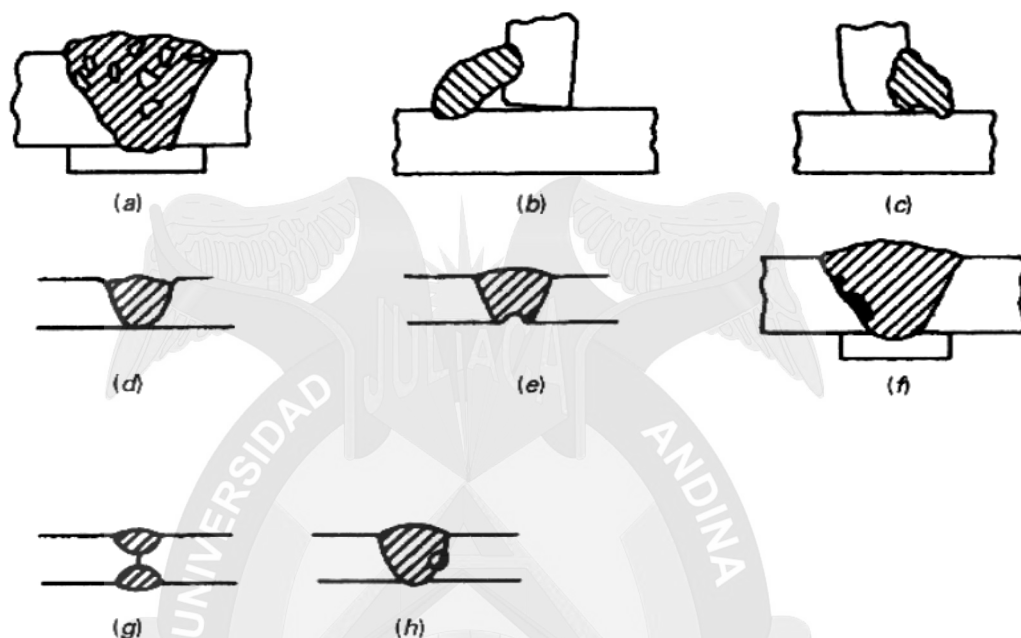


Figura 4.3. Algunos defectos de soldadura:
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

La tensión residual es aquella tensión interna remanente en el metal fundido y materiales adyacentes de base cuando se ha realizado una soldadura. Ha sido causada por el alto calor concentrado en la soldadura comparado con el del metal más frío. Esto es la sede de un gradiente térmico, que lleva a una dilatación y contracción no uniformes, lo que induce tensiones internas en la soldadura. El martilleo y el tratamiento térmico reducirán las tensiones residuales. Esto se denomina descarga de tensiones o tratamiento térmico posterior a la soldadura.

Las grietas en las soldaduras se ilustran en la Figura 4.4 y son causadas normalmente por alguna forma de dilatación y contracción durante la soldadura. Sin embargo, cada tipo de grieta tiene sus causas específicas, incluso aunque las grietas se dividen en dos categorías: 1) grietas en caliente que ocurren antes de la solidificación de la soldadura, y 2) grietas en frío que tienen lugar después de que la solidificación ha terminado. Las grietas no están permitidas por el Código en la soldadura, porque este tipo de discontinuidad tiene la capacidad de propagarse y producir serios fallos en piezas sometidas a presión. Las grietas son también

producidas por cambios metalúrgicos en el proceso de soldadura que hacen frágil a la junta soldada, especialmente en la zona afectada por el calor de la soldadura. La capacidad de formar una estructura frágil en la HAZ aumenta a medida que lo hace el contenido de carbono y aleación del metal base, porque el alto contenido de carbono aumenta la dureza y disminuye la ductilidad de la HAZ.

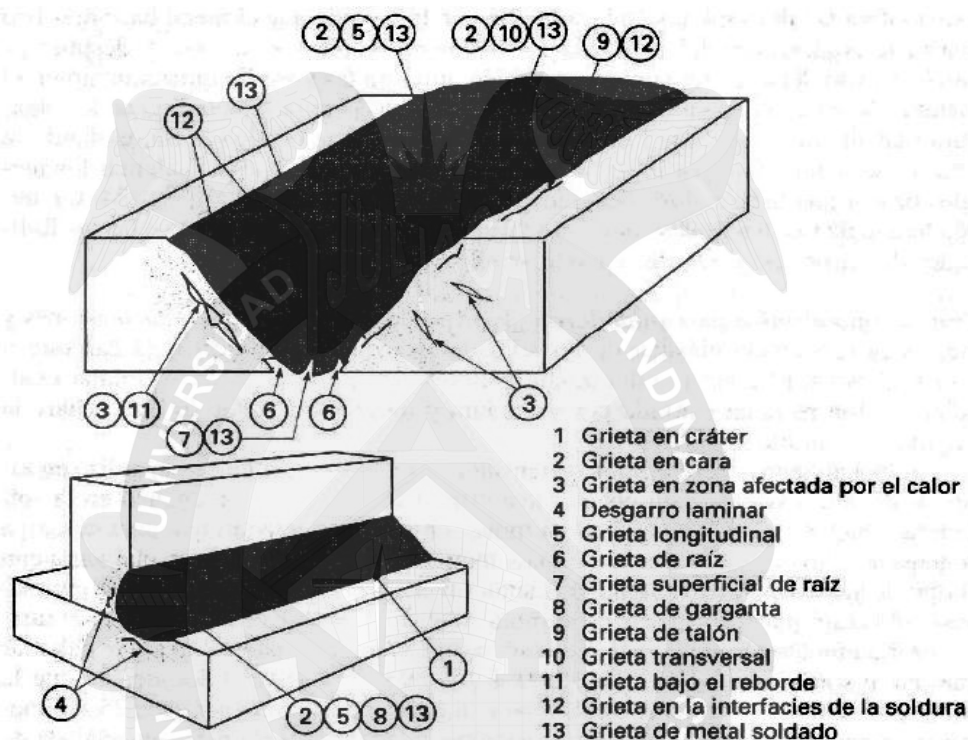


Figura 4.4. Las grietas en las soldaduras tienen múltiples causal.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

Este tipo de grieta puede ser evitado usando electrodos de bajo contenido de hidrógeno, utilizando el precaldeo y realizando una buena preparación y limpieza de la junta a soldar, dejándola libre de humedad, grasa, aceite y cualquier otro compuesto hidrocarbonado. En muchos casos debe usarse un tratamiento térmico después de realizada la soldadura.

Los defectos en soldadura normalmente pueden repararse por amolado, lijado de la sección de defectuosa (vacíos, grietas térmicas, falta de penetración, etc.) para sanear el metal y después volver a soldar. Generalmente deben usarse ensayos o pruebas no destructivas para estar seguro de que la sección defectuosa ha sido totalmente eliminada; la reparación también tiene que comprobarse por ensayos no



destructivos. Las aberturas o agujeros (de hombre) están permitidos en las uniones de calderas soldadas. Sin embargo, la soldadura debe haber sido descargada de tensiones y radiografiada y la soldadura de la abertura debe examinarse para comprobar la no existencia de grietas en ambos lados por el método de partículas magnéticas.

PRECALENTAMIENTO. El precalentamiento se recomienda por los ingenieros de soldadura para los aceros aleados en orden a reducir el nivel de diferencia térmica que existe entre el metal base de la zona próxima a la soldadura y el baño de soldadura. Esto evitara posibles grietas en la soldadura en la medida que el metal base más frío resista la contracción del metal de la soldadura cuando se caliente y después se enfríe. El uso del precalentamiento también aminora las tasas de enfriamiento en el metal de la soldadura y en la HAZ, produciendo una estructura metalúrgica de soldadura más dúctil y haciendo que el hidrogeno se difunda o salga fuera, evitando la rotura o agrietamiento por hidrógeno. El precalentamiento implica calentar los metales base a una temperatura de alrededor de 150 °F a 400 °F (65 °C a 204 °C), dependiendo de los materiales soldados, antes de la soldadura. Esto reduce las posibilidades de tensiones residuales cuando se efectúe la misma.

TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA. Este procedimiento aminora las tensiones y mejora la resistencia elástica de las soldaduras metálicas de aceros al carbono y aceros aleados. El concepto del tratamiento térmico post-soldadura es relajar cualquier tensión residual causada por soldadura y temple del metal, lo que evitará la fragilidad y rotura.

Adicionalmente a la relajación de tensiones, el post-calentamiento se utiliza en los aceros de aleación baja Para obtener una estructura de grano homogéneo en la soldadura y metal base por tratamiento térmico a mayor temperatura que Para descarga de tensiones, lo que puede ser seguido de temple a temperatura menor, que varía con el tipo de acero. Dependiendo de los metales bases implicadas, el tratamiento térmico post-soldadura puede mejorar, no cambiar nada o degradar la tenacidad de rotura.

El tratamiento térmico post-soldadura o relajación de tensiones requiere calentar una unión soldada de 1.100 °F a 1.200 °F (de 593 °C a 649 °C) después de que la unión esté soldada y mantener esta temperatura durante una hora por cada 25 milímetros de espesor. Todo el recipiente o solamente la unión soldada debe ser relajada de



tensiones. Es una práctica común completar todas las soldaduras y después rebajar las tensiones de todo el recipiente. La descarga de tensiones afecta a la estructura metálica en su forma cristalina y así reduce la concentración de tensiones residuales en la soldadura. Después de que se ha mantenido la temperatura requerida por el tiempo especificado, el enfriamiento hasta 600 °F (315 °C) debe ser gradual, después de lo cual el metal puede ser enfriado hasta la temperatura ambiente. El martilleo, es un trabajo mecánico del metal por medio de golpes de martillo de modo que se reduzcan las tensiones residuales de una junta soldada producida por el calor de soldadura.

CONSIDERACIONES METALÚRGICAS. Algunas consideraciones metalúrgicas puede hacerse cuando uno contempla un proceso de soldadura. Deben tenerse en cuenta las siguientes:

1. Soldabilidad de las piezas a unir. El Código puede imponer restricciones severas.
2. Condiciones de superficies necesarias y compatibilidad de las propiedades químicas y mecánicas de los metales base al proceso de soldadura que se está utilizando. La humedad de la superficie de los metales ferrosos así como en el electrodo puede dar lugar a porosidad y grietas por hidrógeno en forma de burbujas.
3. La semejanza de los materiales de relleno o electrodos y los metales de base para evitar posible fragilidad de la soldadura.
4. Adecuación del proceso de soldadura para el tipo, espesor y aleaciones de los metales a soldar.
5. Evaluación de los efectos del precalentamiento y tratamiento térmico post-soldadura. Para metales con altas tasas de dureza, un enfriamiento lento evitará el agrietamiento de la zona afectada por el calor. La matriz cúbica centrada en las caras del material puede desarrollar estructuras de grano cristalino grueso cuando se enfría lentamente.
6. Flujos. Flotan mezclados cuando se funden sobre la parte superior de los metales líquidos, protegiendo o haciendo de escudo de los metales respecto a la atmósfera. Las reacciones químicas entre el metal y los flujos son posibles en las interfaces. Si el flujo es alto el dióxido de silicio (SiO_2) es

posible una reacción química que pueda producir mayor porcentaje de silicio en el metal soldado de lo previsto.

PRUEBAS NORMALIZADAS DE SOLDADURA. La Sección IX del código ASME de calderas y recipientes a presión contiene detalles sobre especificaciones que deben prepararse por el fabricante y las pruebas que deben hacerse por un soldador para ser considerado soldador cualificado.

Debería ser apropiado definir los términos: prueba de tensión en la sección reducida; prueba de doblado libre; prueba de doblado o flexión de raíz; prueba de doblado o flexión de la cara, y prueba de doblado o flexión lateral, ya que son utilizados intensivamente en las calificaciones de soldadura normalizadas. Véase el código ASME, Sección IX, para especificaciones típicas de pruebas de soldadura. Las pruebas de tensión en la sección reducida se utilizan para calificar el proceso que, en taller o local del contratista, se usan para soldar. Cuando se rompen bajo presión, debe tener una última resistencia o tracción al menos del rango mínimo de la chapa que se suelda (material base) y la elongación debe ser de como mínimo del 20 por 100.

La prueba de doblado lateral o flexión lateral se usa para calificar soldadores. El espécimen se somete a flexión contra el lado de la soldadura. En el test de flexión de cara (véase la Figura 4.5) el espécimen es sometido a flexión contra la superficie o cara de la soldadura. En el test de flexión de raíz, el espécimen es sometido a flexión contra la parte inferior o raíz de la soldadura. El test o prueba de flexión libre es una prueba de calificación del procedimiento en taller o lugar de la contrata. La prueba consiste en el doblado o flexión en frío de un espécimen y las fibras exteriores de la soldadura deben alargarse (sin agrietarse ni romperse) al menos un 30 por 100 antes de que la rotura tenga lugar.

Para pasar cada prueba, los especímenes, guiados a flexión no deben presentar grietas u otros defectos abiertos que excedan de 1/2" (12,2 mm) medidos en la dirección de la superficie convexa del espécimen después de la flexión, excepto que las grietas aparezcan en las esquinas del espécimen durante la prueba y que no se consideran a no ser que estas ocurran por inclusiones de escoria u otros defectos técnicos de soldadura.

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Cada fabricante o contratista que construye una caldera por soldadura según el Código está obligado a llevar el registro del detalle del procedimiento seguido. Cada procedimiento requiere prueba de las soldaduras realizadas por tests de especímenes de sección reducida y especímenes de flexión o doblado guiado. Las variables que requieran un nuevo procedimiento y nuevas chapas de prueba son muy numerosas. Entre estas están los cambios en los materiales de base, agrupados en Aplicaciones de soldadura ASME (Sección IX) en los primeros «P». Por ejemplo, P-1 incluye los aceros al carbono, P-2 se utiliza como hierro bruto, pero no está listado más, P-3 consta de aceros al cromo-molibdeno, con contenido de cromo por debajo del 0,75 por 100 y con un total de contenido de aleación no mayor del 2 por 100. El rango de números P llega hasta P-10, de modo que las variables de material base en el procedimiento de calificación es grande.

La siguiente variable es el electrodo y selección de la varilla de soldadura, con rangos desde F-1 a F-7. Cada cambio en la selección de electrodo por varilla de soldadura requiere un nuevo conjunto de pruebas de chapas o proceso de fabricación.

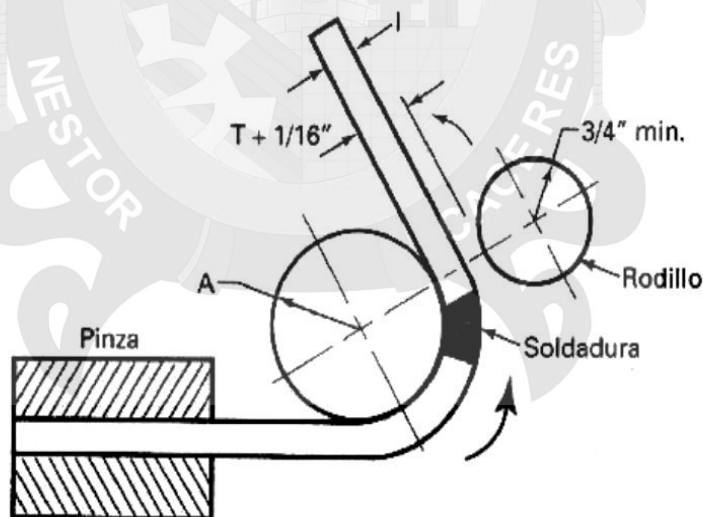


Figura 4.5. Las pruebas mecánicas de soldadura incluyen flexión guiada de las soldaduras de garganta.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. *Manual de calderas*.

El metal de la soldadura se clasifica por análisis del metal, según los números desde A-1 hasta A-8. Estos se relacionan con los numerosos P equivalentes del material base. De nuevo los cambios del metal soldado de la clasificación del metal más



equivalente requieren un nuevo conjunto de test de chapas o procedimiento de cualificación.

El espesor de la chapa o tubo a soldar es otra variable. La clasificación va desde 1/16" a 3/8" (1,59 a 9,53 mm), desde 3/8" a 3/4" (9,53 a 19 mm) y de más de 3/4" como se ve en el Código. El código ASME de soldadura especifica otras variables a considerar al requerirse un nuevo procedimiento de cualificación y prueba, y estas deberían consultarse para variables específicas.

En las soldaduras de garganta, se requiere para calificación del soldador una prueba de flexión o doblado de cara y una prueba de flexión o doblado de raíz para cada posición de soldadura. Para soldadura por puntos se precisa una prueba de chapa según el Código, pero pasando la prueba de soldadura de garganta también se clasifica al soldador para soldadura por puntos. La calificación del procedimiento requiere pruebas de flexión de dos caras, pruebas de flexión de raíz y dos test de tensión en la sección reducida, como se ilustra en el Código de calificación de soldadura de la ASME.

CUALIFICACIÓN DEL SOLDADOR. Un soldador cualificado es alguien que es capaz de realizar soldaduras manuales o semiautomáticas. Un operario de soldadura es el que opera una máquina o equipo de soldadura automática. El Código de trabajo de calderas exige la utilización de un soldador cualificado en la mayoría del trabajo donde se realizan soldaduras según el Código. La prueba de cualificación puede ser realizada por los fabricantes o contratistas responsables. En los trabajos sobre recipientes a presión, debe certificarse y calificarse también el procedimiento de soldadura del fabricante o contratista antes de que el soldador pueda ser calificado. Bajo otros códigos o normativas esto no es necesario. Para llegar a esta cualificación un soldador debe realizar soldaduras específicas, utilizando el proceso de soldadura exigido, el tipo de metal, espesor, tipo de electrodo, posición (véase la Figura 4.6) y diseño de junta. Los especímenes de prueba deben estar hechos a tamaños normalizados y bajo la observación de una persona cualificada. En la mayoría de las especificaciones gubernamentales un inspector gubernativo debe testificar la ejecución de los especímenes de soldadura. Los especímenes deben estar también adecuadamente identificados y preparados para las pruebas. La prueba común es el test de flexión guiado. Sin embargo, los exámenes de rayos X, pruebas de rotura u otras pruebas también se utilizan. La

ejecución satisfactoria de las pruebas de especímenes cualificará* al soldador para tipos específicos de soldadura. La certificación según el Código, en general está basada en el rango del espesor a soldar, las posiciones a utilizar y los materiales a soldar.

RECUERDE. La soldadura de piezas de caldera está bajo control cerrado de las muchas variables implicadas en la soldadura, de modo que compruebe el código de soldadura ASME**. Recordamos de nuevo los siguientes puntos:

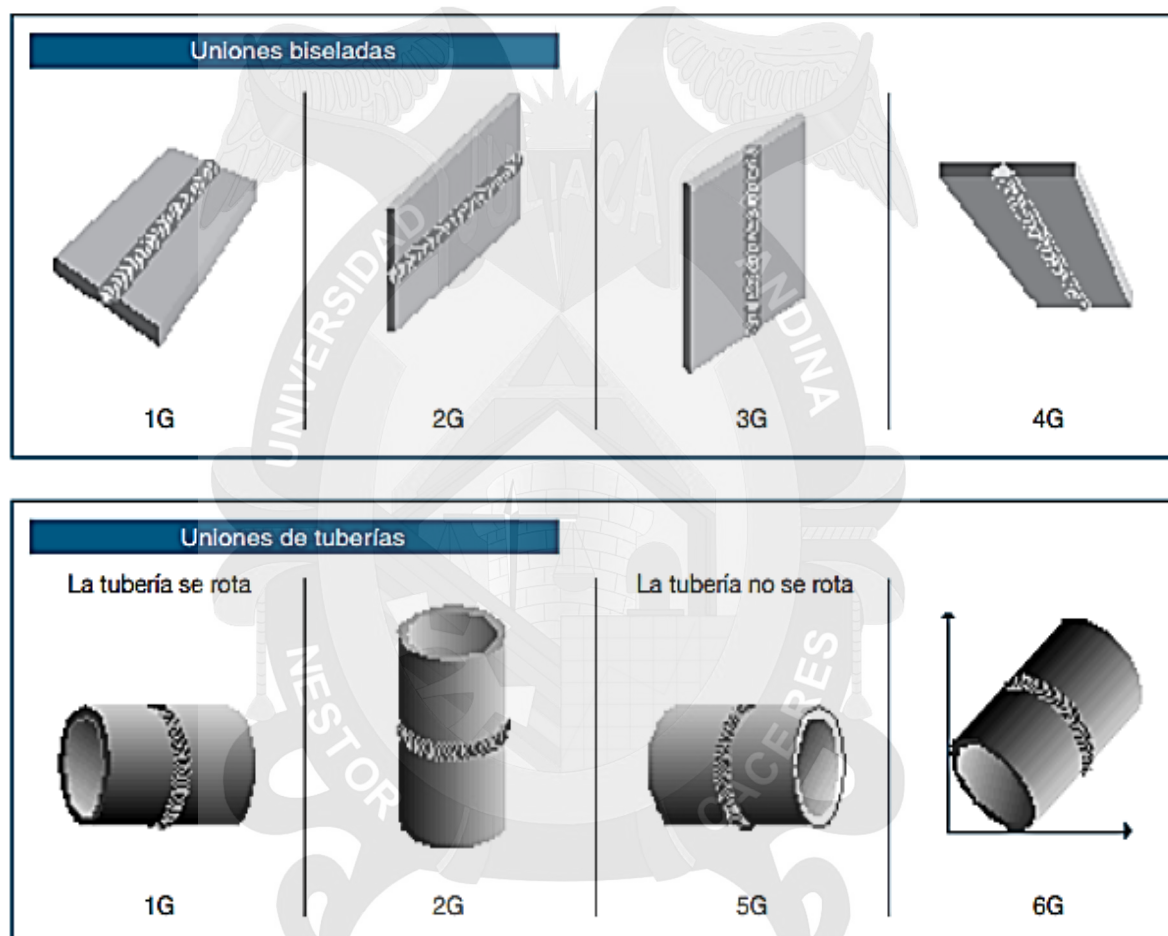


Figura 4.6. Código de posiciones de soldar para soldaduras de garganta utilizadas para cualificar operadores. Posiciones de las pruebas.

Fuente: Manual de operación de soldadura oerlicon.

1. El fabricante o contratista que sigue el Código de soldadura en calderas y recipientes a presión (o vasijas nucleares) es responsable de dirigir las pruebas del procedimiento de cualificación y las cualificaciones de los soldadores para el trabajo hecho por su organización.
2. Las cualificaciones de los soldadores permanecen efectivas en tanto en cuanto el soldador este empleado por el mismo fabricante u organización y

- para las soldaduras de modo continuo. Pero si el soldador cambia de empleo, ya no se le considera más como cualificado, y así debe realizar las pruebas de nuevo. Si el soldador no ha hecho ninguna soldadura en un periodo de más de seis meses en la posición, material, etc., para las cuales fue cualificado, debe ser recualificado.
3. El fabricante o contratista es responsable de mantener todos los registros de procedimiento y pruebas de cualificación de soldadores. Estas son necesarias como evidencia del taller o habilidad del soldador para hacer aceptable su trabajo según el Código. Un inspector autorizado según el Código tiene derecho, sin embargo, a preguntar o exigir otras pruebas si hay razón para creer que la soldadura no es aceptable según los requisitos normativos.
 4. El fabricante o contratista debe asignar números identificativos, letras o símbolos para cada soldador cualificado y operario de soldadura, de forma que el trabajo del soldador u operario de soldadura podrá ser identificado y retomado si es necesario.

Los soldadores no cualificados pueden ser utilizados en calderas construidas según normativa legal para soldar piezas cuya resistencia en la caldera no depende en ningún modo de la soldadura y, adicionalmente, el efecto térmico de la soldadura no afecte en modo alguno a la resistencia de las piezas o componentes o sea asiento de tensiones en partes adyacentes a la zona que está siendo soldada.

No es permisible soldar cualquier tipo de acero para piezas de calderas a presión. Debe ser material admitido por la normativa legal y también debe ser acero al carbono o aleado de un contenido de carbono de no más del 0.35 por 100. Esta regla también se aplica al corte oxiacetilénico u otros procesos de corte térmico.

Los calderines soldados de caldera pueden tener una distorsión limitada. El calderín debe ser circular en cualquier sección dentro del límite del 1 por 100 del diámetro medio. Si es necesario para cumplir este requisito, las chapas deben ser calentadas, relaminadas o reformadas. Los hogares deben ser laminados (en calderas escocesa marinas o de hogar interior) con una desviación máxima de la circunferencia real de no más de 1/4" (6,35 mm). Las chapas de espesor desigual pueden soldarse supuesto que haya una sección de transición intermedia, que tendrá una longitud no menor de tres veces la diferencia entre las superficies de chapa adyacentes, y



supuesto que las juntas o uniones entre chapas difieran en espesor no más de $1/4$ del espesor de la chapa más fina, o no más de $1/8"$ (3,2 mm).

Hay muchos requisitos normativos detallados en la Sección I del Código, así como requisitos en el Código de calderas de calefacción, Sección IV. Además los requisitos generales de soldadura están cubiertos extensamente en la Sección IX del Código, que debería ser revisada para ver los detalles sobre los requisitos.

INSPECCIONES DE SOLDADURA EN CAMPO

Las siguientes son algunas áreas que el personal de planta debería cubrir o cumplimentar cuando se revisan las soldaduras realizadas en su planta:

1. Conformidad del proceso de soldadura que este siendo utilizado con las especificaciones del procedimiento escrito.
2. Extensión de la limpieza de una junta previamente a su soldadura para asegurar una soldadura perfecta.
3. Precalentar y mantener las temperaturas de transición y ver cómo son estas en comparación con los requisitos del Código para los materiales que están siendo soldados.
4. Preparación de la junta y conformidad con las especificaciones del Código y dimensionales escritas.
5. Material de relleno y adecuación para el proceso de soldadura y el material que está siendo soldado según requisitos del Código.
6. Martilleo, amolado y vaciado que se llevan a cabo después de cada pasada de soldadura para eliminar escorias e impurezas.
7. Refuerzo de la chapas durante la soldadura para controlar la distorsión.
8. El tratamiento térmico después de la soldadura debe ser realizado y cumplido según el Código y los requisitos de temperatura y tiempo de mantenimiento de la misma.
9. Cualificación de los soldadores que hacen el trabajo y la correspondiente documentación a cumplimentar por el fabricante o contratista.

NORMAS DE SEGURIDAD

La AWS (American Welding Society) ha publicado muchas líneas maestras a seguir como normas recomendables de seguridad al realizar las soldaduras de campo. Entre estas están las siguientes:



1. Los gases y humos generados por una soldadura requieren adecuada ventilación alrededor del lugar donde se efectúa.
2. La radiación en forma de luz ultravioleta del área de soldadura requiere el uso de filtros para proteger los ojos y vestido adecuado para proteger la piel.
3. El ruido producido por el trabajo requiere utilizar protección de oídos en forma de casco u orejeras.
4. El levantamiento de piezas pesadas exige seguir las reglas establecidas de seguridad sobre prácticas adecuadas de elevación.
5. Las descargas eléctricas deben evitarse estando seguros de que el equipo está conectado a tierra adecuadamente y de que no hay contacto con partes eléctricas vivas.
6. El peligro de incendio debe evitarse con la purga adecuada de cualquier recipiente que contenga gases o líquidos combustibles. La zona contigua de toda soldadura debe comprobarse respecto a todo material combustible y los prometimientos de protección de incendios deben seguirse, incluso la vigilancia y extintores a localizar y situar en las proximidades.
7. Es esencial tener un procedimiento para el permiso de trabajo en caliente del lugar, implicando la supervisión por ambas, tanto la gerencia de la propiedad como del contratista de soldadura. La gerencia de la propiedad conoce los riesgos que pueden existir en su operación por utilizar una fuente de ignición potencial representada por toda operación de corte o soldadura.
8. La entrada en espacios cerrados según la normativa OSHA requiere procedimientos de purga y después prueba del espacio confinado para estar seguro de que hay al menos 19 por 100 de oxígeno presente en dicho espacio del recipiente o vasija. La regulación también requiere que se sigan otras normas de OSHA para entrada en espacios confinados como la de que no se ponga en peligro al personal que entre en tales espacios y que haya seguridad de socorro en caso de accidente en su interior.

PRUEBAS Y EXAMENES NO DESTRUCTIVOS

Las técnicas modernas de inspección para asegurar la buena calidad de materiales, para detectar defectos ocultos de fabricación, para comprobar soldaduras y reparaciones y para aumentar el esfuerzo de prevención de pérdidas en plantas requiere el uso de métodos de inspección por técnicas no destructivas. Las pruebas



no destructivas se usan también para predecir la vida futura del equipo. Por ejemplo, la comprobación periódica del espesor de una chapa en servicio corrosivo ayudara a determinar cuándo puede tener que reducirse (ese servicio) porque la chapa haya disminuido su espesor, esto también determina que tasa hay de desgaste por año.

El término pruebas no destructivas (NDT) se utiliza para describir el método de prueba o material de inspección para determinar la solidez (o falta de defectos) para que no afecte física o químicamente al material. Las pruebas no destructivas pueden implicar los métodos siguientes: examen visual, prueba hidrostática o de fugas radiográficas, partículas magnéticas, tintes penetrantes, ultrasonidos y corrientes parásitas.

El propósito de las NDT es detectar faltas de tipo incipiente, como grietas, inclusiones, vacíos, porosidad, falta de fusión en soldaduras, laminaciones, faltas de penetración, cortes no visibles, contracciones, mermas y defectos similares de modo que se puedan efectuar reparaciones antes de que los defectos puedan producir un fallo serio en el servicio. Las propiedades mecánicas de las soldaduras se comprueban también. Estas incluyen pruebas de flexión y de extensión, Pero estas se consideran destructivas porque tiene lugar una deformación permanente. Las pruebas de dureza se utilizan también para comprobar los cambios metalúrgicos que pueden haber ocurrido en la zona afectada por el calor (HAZ) de una soldadura, y estas pruebas pueden considerarse no destructivas. Una breve revista de los métodos NDT empleados en fabricación y reparación de calderas es adecuada, pero los requisitos exactos están detallados en el código ASME, concretamente en la Sección V.

INSPECCIONES VISUALES. La inspección visual de una soldadura como método NDT comienza con la comprobación de si se ha usado el material adecuado según el Código. Esto se hace normalmente comparando el informe de la laminación con las marcas que lleva el material. Debe comprobarse también la selección y almacenaje de los electrodos. Los procedimientos escritos de soldadura deben revisarse, así como el registro de soldadores que realizaban el trabajo. Es importante revisar la posición y alineación de las piezas a soldar para estar seguro de que cumplan las especificaciones del Código. Las soldaduras deberán comprobarse para poner de manifiesto falta de fusión de la junta, cortes anteriores y observaciones visuales de defectos semejantes. Un inspector experto detectara muchos defectos

por simple inspección visual. La AWS ha establecido ahora un programa de pruebas para certificar inspectores de soldadura que cumplan un mínimo establecido de requisitos.

Un boroscopio o fibroscopio puede utilizarse en las zonas difíciles de ver de un recipiente, zonas como los tubos en un cambiador de calor. El boroscopio es un tubo deslizante y flexible de manejo manual consistente en una serie de lentes y fuentes de luz internas que permiten visualizar una zona o pared de un recipiente que normalmente no puede verse. La llegada de la fibra óptica ha conducido al desarrollo del fibroscopio, que consiste en un conjunto de luces y fibras transmisores de imagen por el interior de un alojamiento flexible que tiene una lente ocular en un extremo.

EXAMEN RADIOGRÁFICO. La inspección radiográfica incluye los rayos X y rayos gamma obtenidos a partir de isotopos, como el cobalto 60 y el iridio 192 cuya energía radiante puede ser controlada con seguridad. El método radiográfico de prueba básicamente implica el paso de radiaciones a través del material que se quiere probar. Los rayos inciden sobre. Una película o pantalla y por visión del contraste es posible para un radiografista experto detectar y detallar la estructura interna del objeto sometido a prueba. El punto focal es una pequeña zona en el tubo de rayos X desde la cual emana la radiación. En radiografía gamma, un isótopo como el cobalto 60 es la fuente o foco de radiación. Cuando se usan isótopos radiactivos, la intensidad en curios es importante, así como el tamaño físico de la fuente. A menor fuente de radiación, más cercano debe colocarse el material; al mismo tiempo, cuanto menor es el tamaño, más débil es la intensidad de la fuente en curios y mayor tiempo de exposición se necesita (véase la Figura 4.7). La intensidad de la radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente. Sin embargo, no es posible colocar el foco y el material tan cercanos como es necesario. Se comprobó que cuanto más corta es la distancia fuente-película, mayor es el paralaje o halo, efecto sobre la película radiográfica. Esto puede hacer borroso o desdibujar la imagen de una inclusión que debe estar en el material de prueba y así enmascarar un defecto. La distancia mínima a la película, según el tipo de fuente, tamaño de la mancha focal y espesor implicado, se determina mediante una fórmula normalizada para la falta de contraste geométrico:

$$Ug = \frac{Ft}{D} \dots \dots \dots \text{Fórm. 02}$$

Dónde:

Ug = falta de contraste geométrico

F = tamaño del foco en pulgadas (cm)

D = distancia de la fuente al objeto que se esté radiografiando en pulgadas (cm)

t = espesor de soldadura u objeto que está siendo radiografiado en pulgadas (cm)

Máxima tensión (kV punta)	Pantallas	Aplicaciones y limitaciones aproximados de espesor práctico
50	Ninguna	Secciones metálicas extremadamente delgadas. Madera, plásticos, especímenes biológicos, etc.
150	Ninguna o lamina de plomo fluorescente	Aleaciones ligeras, 5" (127 mm). Aluminio o equivalente; 1" (25.4 mm) acero o equivalente 1 1/2" (38 mm) acero o equivalente
250	Lamina de plomo Fluorescente	2" (50.8 mm) acero o equivalente 3" (76.2 mm) acero o equivalente
400	Lamina de plomo Fluorescente	3" (76.2 mm) acero o equivalente 5" (101.6 mm) acero o equivalente
1000	Lamina de plomo Fluorescente	5" (127 mm) acero o equivalente 8" (203.2 mm) acero o equivalente
2000	Lamina de plomo	8" (203.2 mm) acero o equivalente
15-24	Lamina de plomo	16" (406 mm) acero o equivalente
MeV*	Fluorescente	20" (508 mm) acero o equivalente

(a)

Material	Vida media	Millones de electrón-voltios de rayos	Espesor de la aplicación de acero en pulgadas
Cobalto 60	5.3 años	1.17 - 1.33	1.5 - 5
Cesio 137	33 años	0.66	1.0 - 4
Iridio 192	70 días	0.137 - 0.651	0.5 - 2.5

(b)

Tabla 4.1. Maquinas típicas de rayos X utilizadas en radiografías para comprobar defectos metálicos.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.



Generalmente la falta de contraste geométrico no será mayor que 0,020" (0,5 mm) para un material con espesor inferior a 2" (50,8 mm); no mayor de 0,03" (0,76 mm) para material con espesor entre 2" y 4" (50 a 101 mm); y no más de 0,05" (1,27 mm) para material con espesor mayor de 4" (101 mm). Se requiere un operario de radiografías experto y cualificado para demostrar la capacidad de cumplir estos requisitos. El tiempo de exposición para una radiografía debe ser suficiente para cumplir con las normas de densidad de película, que es una medida del efecto de oscurecimiento sobre la película expuesta. Las radiografías que están con demasiada luz pueden no revelar defectos como inclusiones, y aquellas que son demasiado oscuras pueden hacer imposible separar los defectos del fondo.

Los requisitos de densidad según la Sección V del código ASME estipulan que « la densidad de la película transmitida a través de la imagen radiográfica del cuerpo del penetrómetro adecuado y la zona de interés » será:

- 1,8 para película sencilla visionando película de rayos X.
- 2,0 para radiografías de fuente de rayos Gamma.
- 2,6 para exposiciones de película doble.
- 4,0 para densidad máxima permitida para visionado simple o compuesto.

En las zonas soldadas que van a ser radiografiadas, las superficies deben estar pulidas de modo que se eliminen las irregularidades superficiales que pudieran interferir con una interpretación adecuada de la película.

Los defectos tales como grietas, inclusiones de escoria, falta de penetración, vacíos y otros aparecen como zonas oscurecidas en la película ya que tienen menor densidad que el metal macizo. Las faltas típicas a resaltar son las siguientes: grietas que aparecen como líneas irregulares oscuras, inclusiones de escoria que se muestran como pequeños puntitos o motas oscuras con líneas externas irregulares, bolsas de gas que aparecen como motas oscuras con líneas externas suaves con arañazos o fallos ocasionales y la falta de penetración que se evidencia por una suave línea oscura a menudo localizada en medio de una soldadura.

El Código proporciona guías o normas para juzgar cuando una indicación es aceptable. Algunas de las normas o requisitos son los siguientes:

1. El primer requisito es la inspección visual de la soldadura. Las uniones deben tener penetración total de la junta y deben estar libres de cortes internos, solapes o picos y valles abruptos. Está especificado que el refuerzo de soldadura no exceda de lo siguiente:

Espesor de chapa	Máximo espesor del refuerzo
Hasta $\frac{1}{2}$ " (12.8 mm) inclusive	$\frac{1}{16}$ " (1.59 mm)
Más de $\frac{1}{2}$ " a 1" (25.4 mm) inclusive	$\frac{3}{32}$ " (2.38 mm)
Más de 1" a 2" (50.8 mm) inclusive	$\frac{1}{8}$ " (3.175 mm)
Más de 2" inclusive	$\frac{5}{16}$ " (7.94 mm)

Tabla 4.2. Refuerzos de soldadura.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

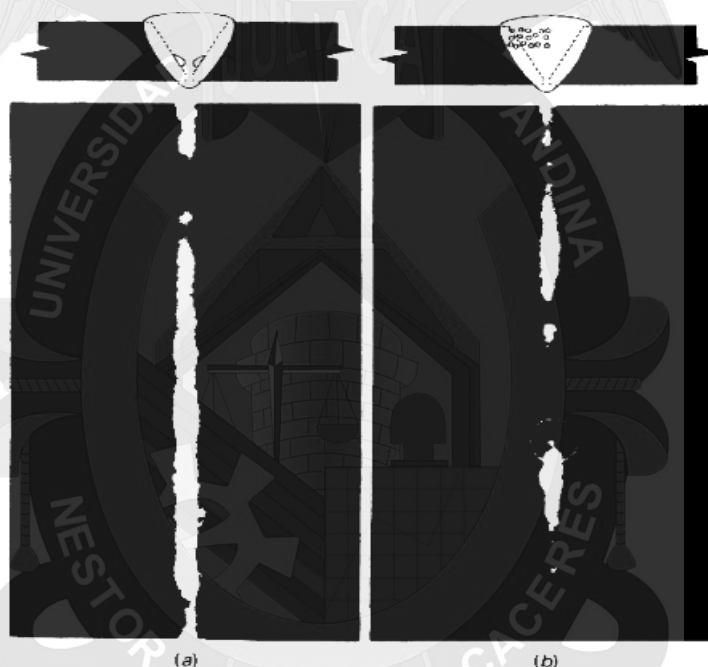


Figura 4.7. Se requiere experiencia en la interpretación de películas radiográficas para estudiar las formas típicas de los defectos.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

2. Las juntas soldadas para ser radiografiadas deben estar libres de arrugas o irregularidades superficiales de soldadura hasta el punto de que el contraste radiográfico resultante debido a algunas irregularidades no oculte o induzca a confusión en las imágenes de un defecto cuestionable.
3. Deben usarse unos patrones denominados penetrámetros para cada exposición de una película. El penetrámetro sirve como patrón de referencia y comparación sobre la película para comparar la magnitud de los defectos de la soldadura. Esto se realiza mediante una pequeña tira o banda de metal

para cada exposición y taladrando orificios en la tira antes de la exposición; estas cintas metálicas sirven como guía para detectar defectos existentes dentro del 2 por 100 del espesor de chapa que está siendo soldada. Estos orificios se taladran con un calibre especificado de diámetro mínimo de 1/16" (1,58 mm). El método apropiado de colocación del penetrámetro se muestra en la Figura 4.9.

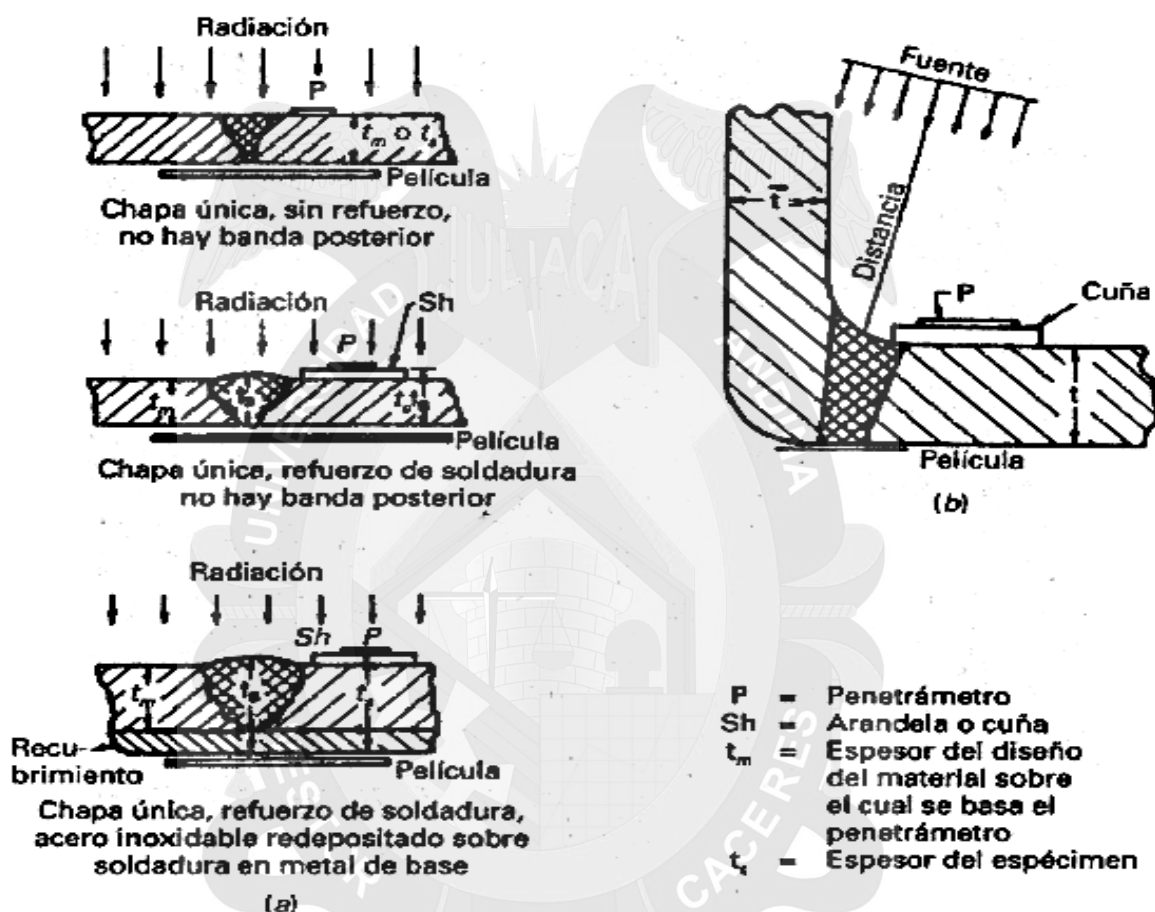


Figura 4.8. Penetrámetro y situación de la arandela o cuña en radiografía.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

Cuando se tome una radiografía de rayos X. el penetrámetro viene incluido en la misma y los orificios sirven como escala para detectar la magnitud de las faltas que la película recoge. Para comparar los orificios de un penetrámetro (chapita taladrado) con los orificios notados en una soldadura cuando la película se ha revelado, se ha incluido un patrón de comparación en cada película (chapita o fotografía de la misma). El Código estipula tolerancias para rechazar soldaduras basadas en los datos del penetrámetro. Las calderas de potencia construidas según la Sección I del Código exigen que se radiografíen las piezas de caldera siguientes:

JUNTAS SOLDADAS

1. Las juntas soldadas longitudinalmente requieren examen radiográfico en toda su longitud para las virolas o calderines de las calderas de potencia.
2. Las juntas soldadas circunferenciales de virolas o calderines requieren examen radiográfico si el espesor de la chapa excede de 1.6r (28,6 mm).
3. Para tubos, tabuladoras y colectores, las juntas soldadas circunferenciales exigen examen radiográfico cuando:
 - a. Si contienen vapor, en tubos de más de 16" (406 mm) de diámetro nominal o espesores mayores de 15/8" (41,3 mm). Para los que contienen agua, más de 10" (254 mm) de diámetro nominal o más de 11/8" (28,6 mm) de espesor. En ambos casos no existe contacto con los gases del hogar.
 - b. Si están en contacto con los gases del hogar, pero no con la radiación del mismo, más de 6" (152,4 mm) de diámetro nominal de tubo o más de 3/4" (14 mm) de espesor.
 - c. Si están en contacto con los gases del hogar y su radiación, más de 4" (101,6 mm) de diámetro nominal del tubo o más de 1/2" (12,7 mm) de espesor de pared.

Si los tubos tienen al menos cinco o más pasos o filas entre ellos y el hogar y si los tubos están en contacto con los gases del hogar que no excedan de 850°F (454,5 °C), no se requiere radiografía de la soldadura.

Las indicaciones que mostradas sobre la radiografía son consideradas inaceptables por normativa comprenden:

1. Indicaciones de una grieta y zonas de fusión o penetración incompleta.
2. Otras indicaciones alargadas que tengan longitudes mayores de las mostradas en la tabla siguiente:

Espesor de chapa	Máximo espesor del refuerzo
Hasta 1/2" (12.8 mm) inclusive	1/16" (1.59 mm)
Más de 1/2" a 1" (25.4 mm) inclusive	3/32" (2.38 mm)
Más de 1" a 2" (50.8 mm) inclusive	1/8" (3.175 mm)
Más de 2" inclusive	5/16" (7.94 mm)

Tabla 4.3. Límites de zonas de fusión o penetración completa.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

3. Los indicios alineados no pueden tener una longitud agregada mayor del espesor de la soldadura en una longitud total de doce veces el espesor de la soldadura.
4. Los cuadros de porosidad de la Sección I se utilizan para comprobar si algún grupo de indicios alineados puede no ser aceptable.

La Sección I ahora exige que el personal que realiza pruebas NDT para un fabricante o contratista deba estar cualificado para la práctica recomendada SNT-IC-1 A de la sociedad americana de pruebas no destructivas. El Código exige de los aceros fundidos que tengan reparaciones que excedan 1", o el 20 por 100 del espesor de la Sección, que pasen el examen radiográfico para estar seguros de que dicha reparación es satisfactoria. Como puede verse la técnica NDT se aplica a las reparaciones y no solo a construcciones nuevas.

PRUEBAS Y ENSAYOS DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS. Estas pruebas se usan para detectar fallos superficiales por medio del establecimiento de un campo magnético o líneas de fuerza magnética, entre dos electrodos. Se rocía con un polvo magnético sobre el trabajo de prueba. El campo magnético afectará al polvo magnético y estas partículas se alinearán sobre un fallo, como se ve en la Figura 7.10. Pero la interpretación correcta de las concentraciones de polvo magnético requiere experiencia y práctica. La inspección por partículas magnéticas es un medio práctico de señalar discontinuidades de labio cerca de la superficie de una pieza. Tanto el método seco como el húmedo están disponibles en la actualidad.

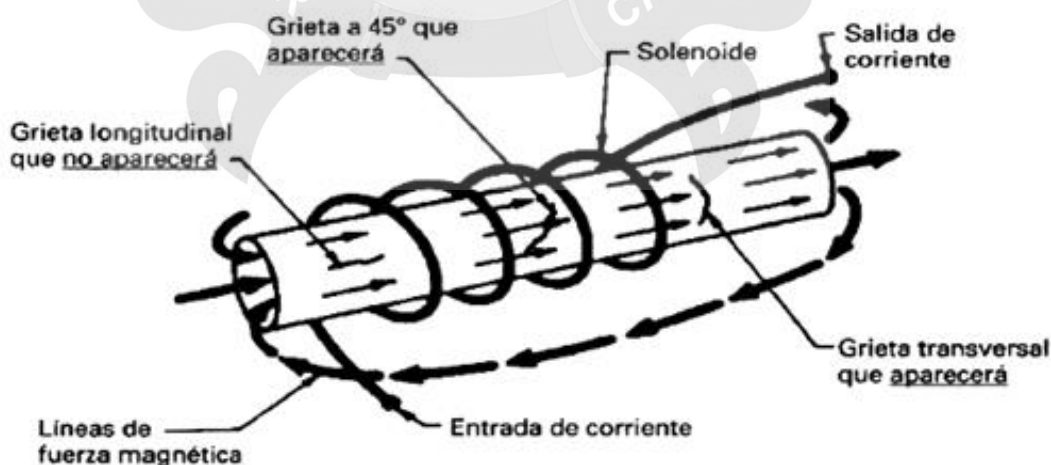


Figura 4.9. Inspección de partículas magnéticas.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.



Las discontinuidades en un material magnetizado hacen aflorar campos de fugas localizados. Y estos campos atraen a las partículas finamente divididas. Este último punto señala el defecto y marca su extensión sobre la superficie de la pieza sometida a inspección.

Ambos tipos de corriente, continua y alterna, se utilizan para magnetizar. La corriente continua (CC) es útil para encontrar discontinuidades bajo la superficie y se utiliza normalmente para inspeccionar soldaduras y fundiciones. La corriente alterna (CA) se emplea normalmente cuando se comprueban piezas mecanizadas de gran precisión y acabado fino.

Generalmente se considera la magnetización de corriente continua cuando se buscan defectos y roturas bajo la superficie. Con la corriente continua el campo magnético se extiende por el interior de la pieza, y los campos de fugas magnéticas se producen en la superficie por interrupción del camino magnético debajo de la superficie.

La corriente continua de media onda es un suministro práctico para defectos subsuperficiales, especialmente cuando la superficie exterior es basta como en las fundiciones o soldaduras. La corriente rectificada de media onda proviene de una fuente de corriente monofásica de alto intensidad y baja tensión. La mayoría de los fabricantes de equipo industrial pesado utilizan estas pruebas para comprobar grietas o roturas en soldaduras y fundiciones. Las soldaduras pesadas de gran espesor pueden inspeccionarse varias veces durante la elaboración de la soldadura y después de cada pasada, si se desea.

Los polvos magnéticos secos se usan para los tipos más ligeros de inspección. Los polvos rojos, grises o negros dan el contraste necesario de color de la pieza que se está comprobando. Los polvos secos permiten una sensibilidad máxima para defectos profundos y grietas para la superficie.

La técnica del método húmedo usa una pasta mezcla de partículas magnéticas combinadas con aceite o agua. La pieza a inspeccionar bien se sumerge en la mezcla o bien la mezcla se extiende sobre la pieza. En el método seco, que es más sensible a defectos bajo la superficie, el polvo magnético se extiende por sople sobre la pieza a inspeccionar.



Para muchas aplicaciones, las partículas magnéticas son recubiertas con un material fluorescente y se usan en combinación con luz negra. Así, la indicación resultante reluce y es atractiva para el ojo. En efecto, esto incrementa la sensibilidad de la inspección.

La principal limitación del método de las partículas magnéticas es que se aplica solo a materiales magnéticos y no es adecuado para unos defectos muy pequeños o situados muy profundamente. Cuanto más profundo está el defecto debajo de la superficie, más grande aparecerá. Los defectos superficiales son más fáciles de hallar cuando tienen una forma agrietada, como la de la falta de fusión en la soldadura. En objetos grandes y pesados, cuando se desea una inspección extremadamente sensible, la operación lleva más tiempo. Esto es cierto con piezas de tamaño medio crítico como hélices de aviones. Con las pruebas de partículas magnéticas, la superficie a inspeccionar debe estar disponible para el operario. Esto significa que los ejes u otros equipos no pueden inspeccionarse sin desmontar ruedas, poleas o alojamientos de cojinetes.

Las ventajas del ensayo de partículas magnéticas son muchas. La prueba de partículas magnéticas puede usarse sobre materiales de tipo magnético que son muy corrientes en productos industriales. Es un método positivo de encontrar todas las grietas superficiales. Y como estas grietas en las superficies son las más serias y pueden conducir a la rotura, es importante. El sistema es flexible y permite el uso efectivo de equipo portátil. El coste de equipo y horas de trabajo requeridas para la prueba resulta favorable en comparación con el método de inspección visual simple.

INSPECCIÓN DE LÍQUIDOS (TINTES) PENETRANTES. Este método de prueba se utiliza de modo algo parecido a las pruebas de partículas magnéticas, excepto que se usa principalmente sobre materiales no magnéticos. Pero puede utilizarse sobre material magnético. El tinte penetrante contiene un tinte visible, normalmente rojo. Las indicaciones de los defectos aparecen como líneas rajadas o puntos contra el fondo blanco del revelador. Es principalmente un indicador de defectos superficiales y se utiliza como sigue: se aplica un tinte penetrante a la pieza en baño o inmersión, con brocha o espray y se le deja situarse durante algún tiempo. Después del tiempo apropiado de penetración, el exceso de líquido penetrante se elimina de la superficie y se aplica un revelador. El líquido penetrante queda atrapado en el defecto y se lleva a la superficie por la acción del revelador (véase la Figura 4.11). Las grietas se

detectan al notarse el contraste entre el color blanco del revelador y el rojo del líquido penetrante.

Otro sistema de penetración utilizado es el método fluorescente penetrante que contiene un material que es fluorescente y brilla bajo una luz negra. Las indicaciones de los defectos aparecen como líneas fluorescentes o puntos contra el fondo no fluorescente.

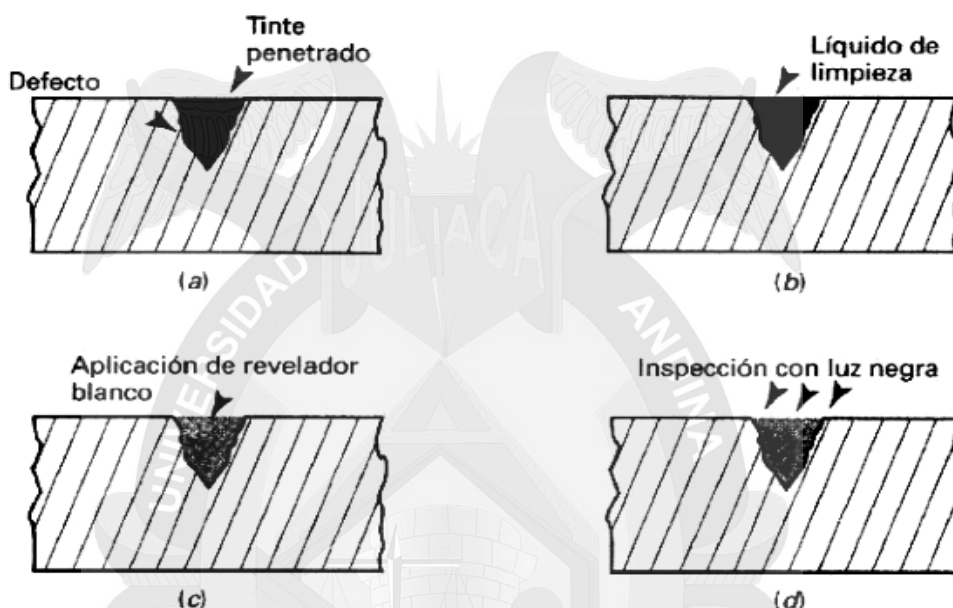


Figura 4.10. La inspección por líquido penetrante implica cuatro pasos para revelar un defecto:
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

Las ventajas del método de tinte penetrante son las siguientes: es de suministro rápido en el sistema de inspección de puntos durante una parada menor por períodos de cierre; el coste inicial de la prueba es relativamente bajo. Una superficie perfectamente blanca o tipo sabana indica que hay ausencia de grietas u otros defectos que estén abiertos a la superficie. Las desventajas son que no es práctico sobre superficies muy bastas o rugosas y que el color de contraste es limitado sobre algunas superficies. También que solo detecta defectos abiertos a la superficie.

INSPECCIONES ULTRASÓNICAS. Las pruebas ultrasónicas hacen uso de ondas sónicas de alta frecuencia de 0,5 a 10,0 MHz para inspección del material en busca de grietas o defectos y para medir el espesor de chapa o pared. El principio básico utilizado en un sistema de ultrasonidos es la transformación de un impulso eléctrico en vibraciones mecánicas y después la re transformación de las vibraciones mecánicas en impulsos eléctricos que puedan verse o mostrarse en una pantalla denominada pantalla de tubo de rayos catódicos (CRT). La transferencia de energía



mecánica a eléctrica se hace por medio de un transductor. Un transductor es un dispositivo que transforma energía de una forma a otra. Los transductores ultrasónicos transforman energía eléctrica de alta frecuencia en energía mecánica de alta frecuencia a través de elementos magneto-restrictivos hasta 100 kHz, y por encima de este rango suelen ser normalmente del tipo piezoeléctrico. En el campo NDT ultrasónico, los transductores piezoeléctricos se utilizan mucho. Los transductores piezoeléctricos dependen de la dilatación o expansión y contracción de ciertos materiales cerámicos y cristalinos bajo el influjo de un campo potencial eléctrico fluctuante (oscilante). Si se aplica presión mecánica a ciertas capas de cristales específicos, se genera un potencial eléctrico a través de ellos que es proporcional a la presión aplicada; e inversamente un potencial eléctrico de frecuencia apropiado producirá una vibración del cristal y eso genera ondas de presión en un medio con el que este en contacto. La Figura 4.12 muestra una disposición de una probeta en la que el cristal o transductores están montados para generar energía mecánica longitudinal (sonido) o angular en una pieza de prueba. El componente básico de un típico impulso de detección de defectos es un impulso eléctrico corto generado y aplicado a los electrodos de la probeta, que convierte el impulso de eléctrico a energía de vibración mecánica. Este impulso ultrasónico viaja a través del material y una parte es reflejada a la probeta receptores mediante un reflector que puede ser la parte final del material sometido a prueba por un defecto interno del mismo. El impulso que vuelve al receptor genera un pulso eléctrico que es amplificado y mostrado en la pantalla por un tubo de rayos catódicos.

El tubo de rayos catódicos (CRT) es un componente familiar de un aparato de televisión. Se emplea en muchas aplicaciones para hacer visible cualquier onda que puede ser convertida en un chorro o haz de electrones. Para evaluar la información mostrada en la pantalla del tubo de rayos catódicos (CRT) debe seguirse una calibración técnica de modo que puedan compararse o captarse los defectos con relación a bloques de referencia externos. El objeto principal de estos bloques es:

1. Calibrar el instrumento para un tiempo base para ondas longitudinales o transversales.
2. Medir ciertas características de las probetas y del aparato.

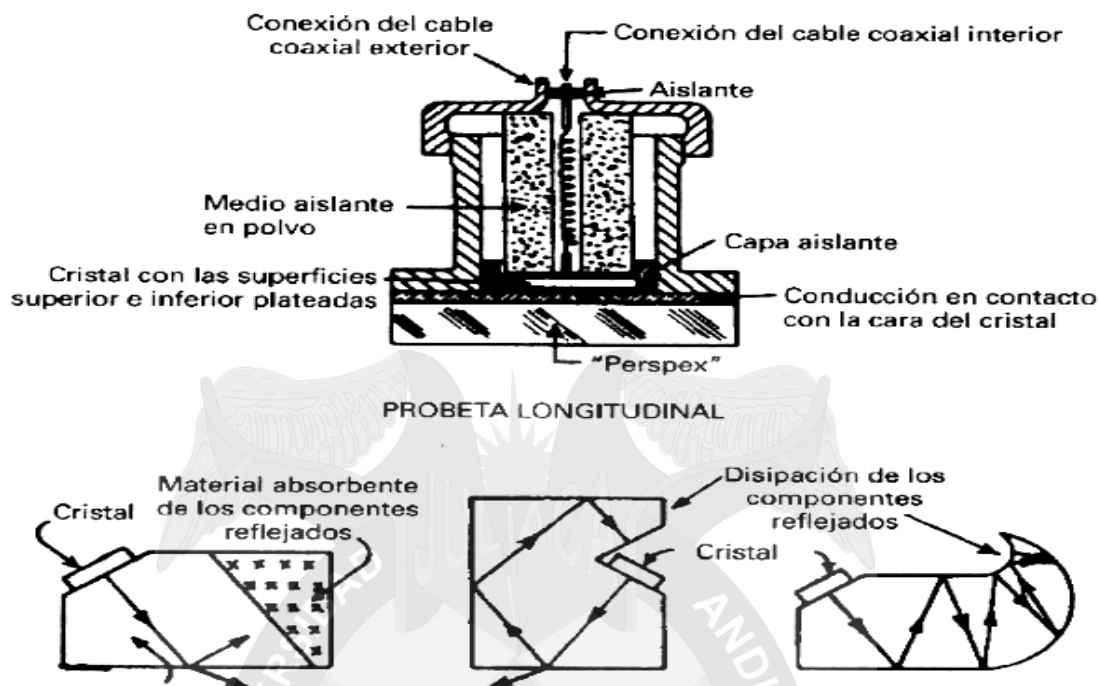


Figura 4.11. Detalles de probetas de cristal detectoras de ultrasonidos para sistemas de detección longitudinal y axial.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

3. Ajustar la sensibilidad y comprobarla periódicamente para validarla y que permanezca constante a lo largo de una prueba.
4. Tener un procedimiento escrito de modo que los ajustes y calibrado puedan ser duplicados posteriormente.

Las pruebas ultrasónicas están agrupadas en tres categorías básicas: pruebas de impulso-eco, transmisión transversal y prueba de resonancia. El método del impulso y eco implica transmitir un impulso corto del sonido de alta frecuencia a través de la pieza que se está probando y después detectar unos ecos que se reciben de algún detalle constructivo como un agujero o defecto del material que implique separación o vacío de material suficientemente grande como para que el sonido no pueda transferirse a través de la interface. En operación, un pulso-eco unitario producirá, a través de un impulso eléctrico, un impulso corto de serial eléctrico de alta frecuencia. Esta se transmite al transductor que así forzado a vibrar, normalmente a su frecuencia de resonancia.

Hay muchos instrumentos en el mercado que trabajan con batería y que son capaces de realizar muchas pruebas cualitativas.



Como con los métodos de prueba no destructivos, hay distintas ventajas e inconvenientes asociados con las pruebas ultrasónicas. Las ventajas de estas pruebas son:

1. Alta sensibilidad, permitiendo la detección de defectos minúsculos.
2. Energía penetrante, permitiendo la detección e inspección de secciones de gran espesor.
3. Precisión en la localización y medida del tamaño del defecto.
4. Rápida respuesta, permitiendo una inspección rápida.
5. Las desventajas de las pruebas ultrasónicas son que puedan estar limitadas por la geometría desfavorable de la pieza, como tamaño común, contorno, complejidad y orientación relativa del defecto; y la estructura del material, como el tamaño del grano, porosidad y contenido de inclusiones o precipitados finos dispersos.

ENSAYOS DE PRUEBAS Y FUGAS. Estos están considerados como pruebas NDT supuesto que los ensayos no mantienen dentro de los límites prescritos para evitar una deformación permanente. Una prueba hidrostática al 150 por 100 de la presión de trabajo admisible se considera como no destructiva. Durante esta prueba se hacen inspecciones visuales de soldaduras, juntas y conexiones para detección de fugas, mientras se vigila la presión para ver cualquier bajada que podría indicar una fuga oculta.

Otras pruebas de fuga son las de emisión de burbujas, detección de fugas de halógenos (freones) y espectrómetros de masas.

Los exámenes no destructivos mientras una pieza de un equipo está todavía en servicio son un objetivo a desarrollar a largo plazo. Un desarrollo reciente se ha realizado para inspeccionar tubos de vapor a alta presión utilizando tomografía computarizada de rayos gamma que mide la transmisión de fotones. Cuando los fotones penetran en el material, algo de su energía transportada se convierte en luz a través de la excitación e ionización o por procesos de fluorescencia. La luz centra el efecto fotoeléctrico en un tubo fotomultiplicador (o efecto fotovoltaico en un dispositivo de estado sólido) que produce un impulso eléctrico medible proporcional a la energía de los fotones o rayos gamma incidentes. Un circuito discriminador detecta solo aquellos rayos gamma que han sido transmitidos a través del objeto de ensayo, eliminando la detección de los fotones no deseados. Mediante la utilización



del análisis por ordenador y programas especiales para la analítica del tubo catódico, se puede utilizar un mapa tridimensional para detectar grietas.

Habrán otros métodos de examen no destructivo desarrollados en este campo creciente rápidamente que trata de ayudar a nuestra habilidad y capacidad para inspeccionar por los limitados sistemas visuales.

SELECCIÓN DEL MÉTODO NDT. La amplia selección o abanico de métodos NDT requiere considerar la fortaleza y sensibilidad de cada método, y cuál puede ser el defecto que nos concierne. Frecuentemente habrá de ser utilizado más de un método NDT para hallar y evaluar discontinuidades. El examen e inspección NDT requiere una gran experiencia en el sistema a aplicar para detección de defectos. Esta experiencia especializada se detalla en SNT-TC-IA. «Practica recomendada para cualificación y certificación del personal de técnicas no destructivas, publicada por la Sociedad Americana de Pruebas No Destructivas (ASNT). Son posibles tres niveles o grados de cualificación en cada uno de los métodos NDT previamente descritos. La persona de nivel 3 está más cualificada, lo que generalmente requiere no solo conocimientos teóricos de los métodos NDT, sus ventajas, atajos y la interpretación de los resultados de las pruebas. Los códigos de calderas y recipientes a presión de ASME se refieren a la ASNT como fuente de detalles sobre cualificación y certificación de examinadores de técnicas NDT. El inspector del Código debe incluso estar seguro de que los procedimientos descritos pueden detectar las discontinuidades por el método NDT a utilizar que no son aceptables en la sección del Código según la cual se está construyendo la caldera o recipientes a presión. Por ejemplo, hay normas radiográficas en la Sección I que pueden diferir algo de las que implican a un recipiente a presión nuclear. El inspector autorizado» que hace las inspecciones del Código revisará los resultados hallados por métodos NDT que están dentro de los límites permisibles por el Código. Una coordinación muy cercana es pues esencial entre el examinador NDT y el inspector autorizado.

SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

Los detentadores del sello de ASME, como es la «S» de calderas de potencia, deben tener un sistema de control de calidad que demuestre que serán satisfechos todos los requisitos del Código sobre diseño, materiales, fabricación, examen NDT e inspección. El sistema de control de calidad por elementos debe estar por escrito, normalmente en forma de manual, pero con su utilización restringida para uso de



gente ajena y solo el inspector autorizado o persona que la ASME designe es quien revisara el proceso de detentadores del sello para merecerlo. El párrafo A-300 detalla los requisitos del control de calidad en la Sección I. Incluidos en lo descrito están: autoridad y responsabilidades para el control de calidad, carta de la organización mostrando cómo será llevado a cabo el control de calidad a través del taller del fabricante, cálculos y dibujos de diseño según el Código, procedimientos de control de materiales, métodos y procedimientos de inspección y examen de materiales, procedimiento de soldadura a seguir según el Código, exámenes no destructivos según el Código, tratamientos térmicos a aplicar, calibrado y procedimientos a seguir para tratar de equipos de medida y procedimientos de prueba de los equipos y registros a realizar y distribuir (informes de datos) y mantener según el Código.

CALCULOS DE RESISTENCIA, TENSIONES Y PRESIONES ADMISIBLES

En el Capítulo 8 se han revisado algunos principios básicos de resistencia de materiales y las tensiones principales que un material sometido a carga debe resistir. Este capítulo está dedicado a los cálculos de resistencia aplicados a las calderas de alta presión según el código ASME. Se calcularán de modo similar las ecuaciones que expresan la resistencia de chapas y superficies arriostradas y componentes semejantes de calderas de baja presión y recipientes a presión, pero las ecuaciones específicas están disponibles en la sección correspondiente del código ASME de calderas. Los métodos de cálculo de resistencia de calderas demuestran cómo hacerlo. Debe reconocerse que los nuevos materiales, el mejor control de calidad de fabricación y el aumento de conocimientos de cómo los materiales se comportan bajo carga, continuarán produciendo cambios en las ecuaciones y tensiones admisibles. Además, la última edición de las normativas (código ASME en EE. UU., normativa UNE sobre diseño y construcción de calderas en España, norma. 9-300-90 y el «Reglamento de Aparatos a Presión e Instrucciones Técnicas Complementarias» del Ministerio de Industria y Energía) debería consultarse para conocer los detalles de diseño específicos.



Secciones del código ASME y de la normativa UNE aplicables. Para obtener las últimas ecuaciones y reglas de cálculos, deberá usarse como material de referencia:

Sección I: Reglas para la construcción de calderas. En España, además, las normas UNE 9-300-90 editadas por AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). Esto además del siempre básico «Reglamento de Aparatos a Presión e Instrucciones Técnicas Complementarias o del MINER.

Sección II: Materiales, partes A, C y D.

Código ASME de tuberías, parte: B31.1.

Código de Inspección del National Board y, nuevamente en España, el .Reglamento de Aparatos a Presión e Instrucciones Técnicas Complementarias del MINER.

ANÁLISIS DE COMPONENTES. Toda caldera y sus partes sometidas a presión deben analizarse componente por componente para cuidadosamente considerar la tensión del material que este siendo utilizado, sus características físicas como tipo y clase de material, tensión admisible, espesor, etc. Deben analizarse las fuerzas que actúan sobre este material. Esta fuerza se crea normalmente por la presión pero puede también incluirse la temperatura, el peso que este soportando y la concentración de tensiones, como la existente alrededor de una abertura. El problema persiste, evoluciona al comparar las fuerzas actuantes sobre el material y determinar si el material este siendo sometido a esfuerzos más allá de la tensión admisible determinada por la normativa de calderas. Los elementos a considerar dependen del tipo de caldera pero generalmente incluyen chapas o virolas, calderines, tubos, fondos esféricos, cabezales, superficies planas, riostras, tirantes, aberturas, hogares, juntas soldadas (remachadas en el pasado), soporte de estructuras y tuberías y válvulas de conexión. Cada uno de estos elementos está regido por el Código de calderas y recipientes a presión como material admisible, con tensiones admisibles y método de calcular los esfuerzos para obtener la presión admisible. Finalmente en las aplicaciones de calderas y recipientes a presión, el elemento más débil que produce la mínima presión, determina la presión admisible en la caldera.



INSTALACIONES EXISTENTES. Existe una vieja regla que dice que la presión admisible de una caldera que se basa en los requerimientos del Código prevalece cuando la caldera está construida. Con relación al cálculo de la presión admisible en este capítulo, la idea del autor es mostrar las ecuaciones de las instalaciones existentes y utilizadas hasta 1986, y los nuevos requerimientos del Código de 1986*. Esto ayudará al lector a determinar las presiones y tensiones admisibles para la recolección y resolución de preguntas y cuestiones sobre calderas que pueden surgir. Las revisiones en los cálculos, basados en los cambios de 1986, incluyen:

1. Las juntas soldadas longitudinales deben tener cubrejuntas o chapas de refuerzo a intervalos y el refuerzo de la soldadura sustancialmente nivelado con la chapa. Anteriormente la normativa permitía esto como refuerzo de soldadura, pero la eficiencia permitida por la soldadura era solo del 90 por 100.
2. Los cálculos en las piezas o componentes de las calderas de tubos de humos tales como tubos y virolas-hogares ahora requieren la utilización de la presión exterior y nuevas ecuaciones para determinar la presión admisible (norma UNE 9-300-90/3).
3. La construcción de calderas roblonadas (remachadas) está permitida todavía, pero el Código actual hace referencia a la edición de 1971 de la Sección I para más detalles sobre calderas roblonadas. (Esto indica que la construcción roblonada está básicamente obsoleta.)

La presión manométrica o efectiva se usa en la mayoría de los cálculos de presión admisible, porque esta es la presión marcada en los manómetros en servicio. La presión manométrica es la presión por encima de la presión atmosférica, normalmente expresada como 1 atm o 1,033 kg/cm² (14,7 psi = 1,029 kg/cm²) al nivel del mar (1.033 milibares). La presión absoluta es la presión total por encima de la atmosférica: por ejemplo, 100 psi (7 kg/cm²) de presión manométrica es igual a 114,7 psi (8,029 kg/cm²) de presión absoluta. En general, presión absoluta = presión manométrica + 1 atm (0,1 kg/cm²).

Hay también una diferencia entre presión admisible y presión de trabajo u operativa. Las calderas operan siempre por debajo de la máxima presión admisible para evitar la apertura de la válvula de seguridad ya que una o dos válvulas deben estar taradas a la máxima presión admisible. La experiencia indica que el diferencial siguiente

entre presión de trabajo y presión admisible evitara la apertura de la válvula de seguridad:

Máxima presión admisible	Diferencial de presión de trabajo
Hasta 100 Psi (7kg/cm ²)	10%, pero no menos de 10 Psi (0.7 kg/cm ²)
De 300 hasta 1000 Psi (de 7 y hasta 70 kg/cm ²)	7%, pero no menos de 35 Psi (2.45 kg/cm ²)
De 1000 hasta 2000 Psi (de 70 y hasta 140 kg/cm ²)	5%, pero no menos de 80 Psi (5.6 kg/cm ²)
Más de 2000 Psi (140 kg/cm ²)	Recomendación del fabricante

Tabla 4.4. Presiones admisibles en caldera.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. *Manual de calderas.*

NORMATIVA DE TUBERÍA EXTERIOR A UNA CALDERA. Se requiere una certificación sobre el proyecto de caldera y/o inspección y aprobación por la Consejería de Industria de la Autonomía (en EE. UU., certificación/n del código ASME o inspección y aprobación por un inspector autorizado) tanto sobre la propia caldera como sobre la instalación de tuberías externas a la caldera. Esto comprende proyectos y formularios presentados y aprobados con la caldera prevista de su placa de reconocimiento oficial estampada. La tubería extrema de la caldera comprende las conexiones adecuadas para la(s) válvula(s) exigidas por el Código sobre esas tuberías, tales como salida de vapor, alimentación de agua a caldera, purga, drenajes, venteos, purga superficial, columnas de agua del nivel, vidrio de visión del nivel, manómetro de presión y la línea de retorno de la circulación del agua para una caldera de agua sobrecalentada.

Esta tubería externa clasificada está diseñada y determinada en lo que respecta al material, fabricación, instalación, inspección y presiones admisibles normalizadas según normativa (por ejemplo, ASME B31.1, Código de Tuberías de Potencia) y también se hace referencia a las clases de material en la Sección 1 y/o en los Artículos 18, 19 y en la Institución Técnica Complementaria ITC MIE AP2 de tuberías para fluidos relativos a calderas (6-10-1980, BOE 4-10-80) obligatorias en España. Otras tuberías del interior de las calderas o para tubos de más de 5" (125 mm) de diámetro exterior requieren la utilización de las ecuaciones para calderines o virolas cilíndricas (Sección I del código ASME, en EE. UU., y Sección 5.9.1.5. de la norma UNE 9-300-90, en España).

Estas normativas dan detalles sobre las uniones o juntas aceptables de tuberías; sin embargo, no se puede utilizar las juntas roscadas allí donde puede haber corrosión severa, grietas por corrosión, choque o vibración, ni a temperaturas por encima de 496 °C. El mayor diámetro de tubería roscada es 3" (76 mm) y la máxima presión admisible por tamaño o diámetro de tubería roscada para vapor y agua caliente u otro fluido con temperaturas por encima de 104 °C es:

PROBLEMA. Una tubería de vapor, que va desde la propia caldera a dos válvulas de corte con finales planos para soldar a la caldera de 1.200 psi (84 kg/cm²), es de diámetro nominal 6", norma 80 y, según el cuadro Figura 9.1 muestra, tiene un espesor de 0,432" (10,9 mm). El material del tubo es A210C según B31.1. La temperatura de trabajo no excede los 370 °C. Igual es la presión admisible si se permite una tolerancia de 1/16" (1,6 mm) para la corrosión?

SOLUCIÓN. El Código exige que la tensión admisible para el material no sea mayor que la correspondiente a la temperatura del vapor; por tanto, de la tabla de tensiones B31.1, la tensión permisible para el material A210C es de 16.600 lb/in² (1.162 kg/cm²). La ecuación a utilizar según B31.1 es:

$$P = \frac{2S t_m - A}{D_0 - 2y t_m - A} \dots\dots\dots \text{Fórm. 03}$$

Dónde:

P = presión de diseño o presión interna admisible, psi.

t_m = mínimo espesor de pared requerido, pulgadas.

$t_m = 0,432" - 1/16" = 0,432" - 0,0625" = 0,3695"$

D_0 = diámetro exterior del tubo, pulgadas.

$D_0 = 6,625"$ de la Figura A9 del anexo.

S = máxima tensión admisible para el material, lb/in² $S = 16.600$ lb/in².

y = un factor normativo para acero ferrítico o austenítico basado en la temperatura de diseño.

$y = 0.4$

A = espesor adicional para erosión o cargas impuestas de soporte.

$A = 0,050$ (estimado).

Sustituyendo en la ecuación anterior.

$$P = \frac{2(16.600)(0.3695 - 0.05)}{6.625 - 2(0.4)(0.3695 - 0.05)} = 1.665 \text{ psi} = 116.55 \text{ kg/cm}^2$$

Por tanto, la tubería tiene espesor suficiente para soportar una presión de trabajo de 1.200 psi (84 kg/cm²).

TUBOS DE CALDERA

Se usan tres métodos normales de fabricación de tubos de calderas:

1. El tubo sin soldadura (sin costura) que se perfora en caliente y se estira a su tamaño.
2. El tubo soldado a solape (en forja) que consiste en una tira metálica («estirada») curvada a la forma tubular con el cierre longitudinal por solape. Se le aplica calor y la junta queda soldada de forja.
3. El tubo soldado a tope por resistencia eléctrica se forma coma el segundo tipo pero, coma su nombre implica, la junta se suelda a tope (no a solape).

Se considera una buena práctica por algunos colocar la soldadura de los tubos soldados fuera de la acción radiante de la llama o fuego del hogar. Los tubos para las calderas de tubos curvados se curvan normalmente a máquina. El diámetro de los tubos de caldera siempre se refiere al diámetro nominal exterior mientras que el diámetro de tuberías se refiere siempre al diámetro nominal interior.

EXTREMOS DEL TUBO: EXPANSIONADO, MANDRILADO Y ACHAFLANADO.

Prácticamente todos los tubos de caldera tienen los extremos expandidos contra el orificio de la chapa virola o calderín. Esto se hace para conseguir estanqueidad del tubo contra fugas y darle un agarre firme en el orificio de forma que el tubo pueda tener una sujeción definida o efecto de arriostrado.

Los bordes de los orificios a agujeros de alojamiento están achaflanados aproximadamente 1/16" (0,0625") después de su taladrado de forma que no tengan bordes agudos que puedan cortar al tubo cuando este se expansión.

Los orificios o taladros son mayores en 1/32" (0,03125") mayores en diámetro sobre el diámetro exterior del tubo de caldera, excepto en las placas para los tubos de las calderas pirotubulares. A través de estas placas, los tubos deben parar durante el reentubado y, así, sus orificios o alojamientos en las placas serán 1/16" (0,0625") más grandes en diámetro para así permitir que su recubrimiento protector con suciedad sea eliminado sin daño para la placa de tubos.

Los calderines de gran espesor de virola deben estar contra taladrados (o contorneados los talados) para tener una razonable y estrecha banda circunferencial del tubo para expansión o dilatación. El diámetro del achaflanado debería ser suficiente para permitir el mandrilado y achaflanado del final del tubo según lo requiera.

El achaflanado o contorneado del taladro puede hacerse por el exterior a por el interior. Cuando un calderín de una caldera de tubos de agua tiene los tubos agrandados o expandidos en su parte superior, la mejor práctica es no utilizar el achaflanado exterior, para evitar bolsas o dobleces así formados donde se depositaría el hollín. Para las calderas de tubos de agua los tubos y las conexiones deberían alargarse de 1/4" (6,35 mm) a 3/4" (19,05 mm) más allá del agujero de alojamiento y achaflanarlo, al menos 1/8" (3,175 mm) más grande que el diámetro del orificio de alojamiento.

Las calderas de tubos de humos tienen los finales de los tubos expuestos al calor y productos de combustión y, así, los finales del tubo se quemarían rápidamente si estuvieran achaflanados. En estas calderas, los finales del tubo se retrotraen en burlete o retocan hacia atrás después de haberlas mandrilado, para protegerlos contra el recalentamiento.

PRESIÓN ADMISIBLE EN LAS CALDERAS DE TUBOS DE AGUA. Para calcular la presión admisible en los tubos de las calderas de tubos de agua hasta 5" (125 mm) de diámetro exterior, se utilizara la siguiente ecuación normalizada según el Código:

$$P = S \frac{(2t - 0.01D - 2e)}{D - (t - 0.005D - e)} \dots \dots \dots \text{Fórm. 04}$$

$$t = \frac{PD}{(2S + P)} + 0.005D + e \dots \dots \dots \text{Fórm. 05}$$

Dónde:

P = máxima presión admisible, psi (kg/cm).

D = diámetro exterior de los tubos, pulgadas (cm).

t = espesor mínima requerido, pulgadas (cm).

S = tensión máxima admisible, lb/in² (kg/cm).

ke = factor de espesor para los finales expandidos de los tubos.

NOTA. Para seleccionar el valor de S de los tubos, la temperatura de trabajo del metal no será menor que la temperatura media de la pared del tubo (suma de la temperatura exterior e interior del tubo dividido por 2). Ésta en ningún caso se tomará menor que $700\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($371\text{ }^{\circ}\text{C}$). Para tubos que no absorben calor la temperatura de la pared puede tomarse como la temperatura del fluido dentro del tubo, pero no menor que la temperatura de saturación del vapor.

Nota. En una longitud al menos igual a la longitud del asiento más 1" (25,4 mm), e es igual a 0,04 para tubos expandidos en los asientos tubulares (zonas de sujeción en placa). Sin embargo, $e = 0$ para tubos expandidos en los asientos de tubo, supuesto que el espesor de los finales del tubo sobre una longitud del asiento más 1" (25,4 mm) no es menor que los valores siguientes:

- 0,095" (2,413 mm) para tubos de 1" (25,4 mm) de diámetro exterior y menores.
- 0,105" (2,667 mm) para tubos mayores de 1" (25,4 mm) de diámetro exterior hasta 2" (50,8 mm).
- 0,120" (3,048 mm) para tubos mayores de 2" (50,8 mm) de diámetro exterior hasta 3" (76,2 mm).
- 0,135" (3,429 mm) para tubos mayores de 3" (76,2 mm) de diámetro exterior hasta 4" (101,6 mm).
- 0,150" (3,810 mm) para tubos mayores de 4" (101,6 mm) de diámetro exterior hasta 5" (127 mm).
- Para tubos soldados por resistencia a calderines y cabezales o cajas, $e = 0$.

La Figura A7 del anexo muestra una tabla típica de tensiones admisibles para diferentes materiales de tubo a diferentes temperaturas. La Sección II, en su parte D, del código ASME lista las tensiones admisibles según los números SA (no confundir con los números A listados en el Código de tuberías de potencia). La Figura A8 del anexo de la página 306 lista las tensiones admisibles típicas para materiales de chapa de acero, ahora listado en la Sección II, parte D, en las tablas de tensiones admisibles. Nótese que los tubos que absorben calor, las chapas y calderines son diseñados por las ecuaciones y reglas de la Sección I.

EJEMPLO DE UN PROBLEMA DE TUBOS PARA UNA CALDERA DE TUBOS DE AGUA. Un tubo de acero sin costura en una caldera de tubos de agua está fabricado

con el material SA-210C y tiene 2 1/4" (57,15 mm) de diámetro exterior y 0,188" (4,7752 mm) de espesor. y absorbe calor a 650 °F (343,3 °C). El lobo ha sido expansionado en el calderín. ¿Cuál es la presión admisible para este tubo?

SOLUCIÓN. Utilizar la ecuación P con:

S = el valor para 700 °F (371 °C) según la Figura 9.2 es de 16.600 lbs/in² (1.172 kg/cm²).

t = espesor del tubo = 0,188" (4,7752 mm).

D = diámetro exterior del tubo = 2,25" (57,15 mm).

e = 0 (porque el espesor del tubo es mayor que 0,12" (3,048 mm)).

Sustituyendo en la ecuación del tubo,

$$P = 16.600 \frac{2(0.188) - 0.01(2.25)}{2.25 - (0.188 - 0.005(2.25))} = 16.600 \left[\frac{0.3535}{2.2323} \right] = 2.628.7 \text{ psi}$$

EJEMPLO. ¿Qué espesor se requiere sobre tubos de 2" (50,8 mm) de diámetro exterior fabricado per material SA-178A y que está situado en una zona de absorción térmica de una caldera de tubos de agua de 600 psi (42 kg/cm²)? Los tubos están ensanchados en su alojamiento en el calderín.

SOLUCION: Usando la ecuación:

$$t = \frac{PD}{(2S + P)} + 0.005D + e \dots \dots \dots \text{Fórm. 06}$$

Dónde:

P = 600psi (42 kg/cm²)

S = 41500 lbs/in² de la figura 9.2 a 700°F

D = 2" (50,8 mm).

e = 0 (supuesto; si es preciso añadir 0,04 si el tubo está por debajo del espesor requerido por el Código para tubos expansionados).

Sustituyendo valores:

$$t = \frac{600(2)}{2 \cdot 41.500 + 600} + 0.005 \cdot 2 + 0 = 0.061 = 1.55 \text{ mm}$$

Como este valor está por debajo del valor mínimo de la Tabla de la Figura A9 del anexo para 2" de diámetro (que marca 0,154") añadimos 0.04. Con lo que:

$$t = 0.061 + 0,04 = 0,101" = 2.57 \text{ mm}$$

PRESTON ADMISIBLE EN LOS TUBOS DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES

MÉTODO ANTIGUO: ANTERIOR A 1986. Para calderas de tubos de humos que utilizan el material común de tubos tipo SA-83 y SA-178A:

$$P = 14.000 \frac{t - 0.065}{D} \dots\dots\dots \text{Fórm. 07}$$

Dónde: P = máxima presión admisible, psi.

t = mínimo espesor requerido, in.

D = diámetro exterior del tubo, in.

Para calderas de tubos de cobre de especificación SB-75:

$$P = 12.000 \frac{t - 0.039}{D} - 250 \dots\dots\dots \text{Fórm. 08}$$

Ejemplo. ¿Qué presión se permite sobre un tubo de acero de especificación SA-192 con los asientos finales del tubo expandido y de 3" (76,2 mm) de diámetro, con espesor de pared de 0,115" (2,921 mm) y que va a utilizarse en una caldera pirotubular ?

SOLUCIÓN.

$$P = \frac{14.000(0,115 - 0,065)}{3} = 4.667 (0,050) = 233 \text{ psi} = 16,3 \text{ kg/cm}^2$$

MÉTODO DEL NUEVO CÓDIGO. Es necesario utilizar los gráficos de presión exterior de la Sección II, parte D. del código ASME de calderas. Hay que obtener dos factores. El factor A se obtiene de una gráfica que se muestra en la Figura 9.4. Con el factor A, el factor B se obtiene de otra grafica que está basada en el material utilizado con el límite elástico como criterio para cada curva. La Figura 9.5 es para acero al carbono y de baja aleación con un límite elástico mínimo de 24.000 psi (1.680 kg/cm²) hasta 30.000 psi (2.100 kg/cm²). El problema anterior se resuelve por el nuevo método come sigue a continuación.

El nuevo método requiere la utilización de la presión externa como fuerza actuando sobre el tubo en una cierta longitud, que para las calderas pirotubulares es desde la

placa tubular hasta la otra placa tubular (distancia entre las dos placas de caldera). Para este ejemplo. Suponemos que esta distancia es de 10 pies (3 metros). El primer paso, según el nuevo método ASME, es obtener los siguientes ratios o relaciones para el mismo tubo como se ha dado en el problema anterior:

$$\frac{\text{Diametro exterior}}{\text{Espesor}} = \frac{D_0}{t} = \frac{3}{0.115} = 26$$

$$\frac{\text{Longitud}}{\text{Diámetro exterior}} = \frac{L}{D_0} = \frac{10 * 12}{3} = 40$$

Véase la Figura A10 del anexo. Utilice los valores de $2/D_0 = 40$ en ordenadas y moviéndose horizontalmente en la línea llega hasta $D_0 t = 26$. Baje a abscisas y lea $A = 0,0012$.

Véase la Figura 9.5. Esta es la gráfica de in preside exterior a utilizar para el material SA-178A del tubo. Usando el valor de A determinado anteriormente, muévase verticalmente hasta la línea curva de temperatura 700 (371 °C) y en esa curva (en ese punto de intersección del valor A con la curva), vaya horizontalmente hasta in ordenada de la curva obtenido así el factor $B = 7.400$.

El código ASME de calderas da la siguiente ecuación para este case:

$$\text{Presión admisible} = P = \frac{4B}{3 * \frac{D_0}{t}} \dots \dots \dots \text{Fórm. 09}$$

Y sustituyendo:

$$P = \frac{4 * 7.400}{3 * 26} = 379.5 \text{ psi} = 26.5 \text{ kg/cm}^2$$

Como puede verse, el método gráfico de la preside exterior considera la longitud del tubo, que el método antiguo no considera.

VIROLAS Y CALDERINES

Para calcular la presión admisible sobre virolas o calderines y tubos normalizados de más de 5" (125 mm) de diámetro, deben tomarse en consideración dos factores:

1. Eficiencia de la soldadura de la junta longitudinal. Si una soldadura de unión se nivela con la chapa, puede utilizarse un 100 por 100 de eficiencia o rendimiento, lo que se ha exigido por el código desde 1986. De otra manera, hay que utilizar una eficiencia de la soldadura del 90 por 100. Si la caldera era de construcción remachada (roblonada), se tenía que utilizar una eficiencia de unión apropiada (véase el código ASME de 1971). Si la virola es del tipo sin costura, se usa un 100 por 100 de eficiencia (véase la Figura 9.6a).
2. Como las calderas de tubos de agua están construidas de forma que los calderines tienen los orificios de entrada de los tubos, el efecto de debilitamiento que ello origina se calcula en términos de una eficiencia o rendimiento de unión.

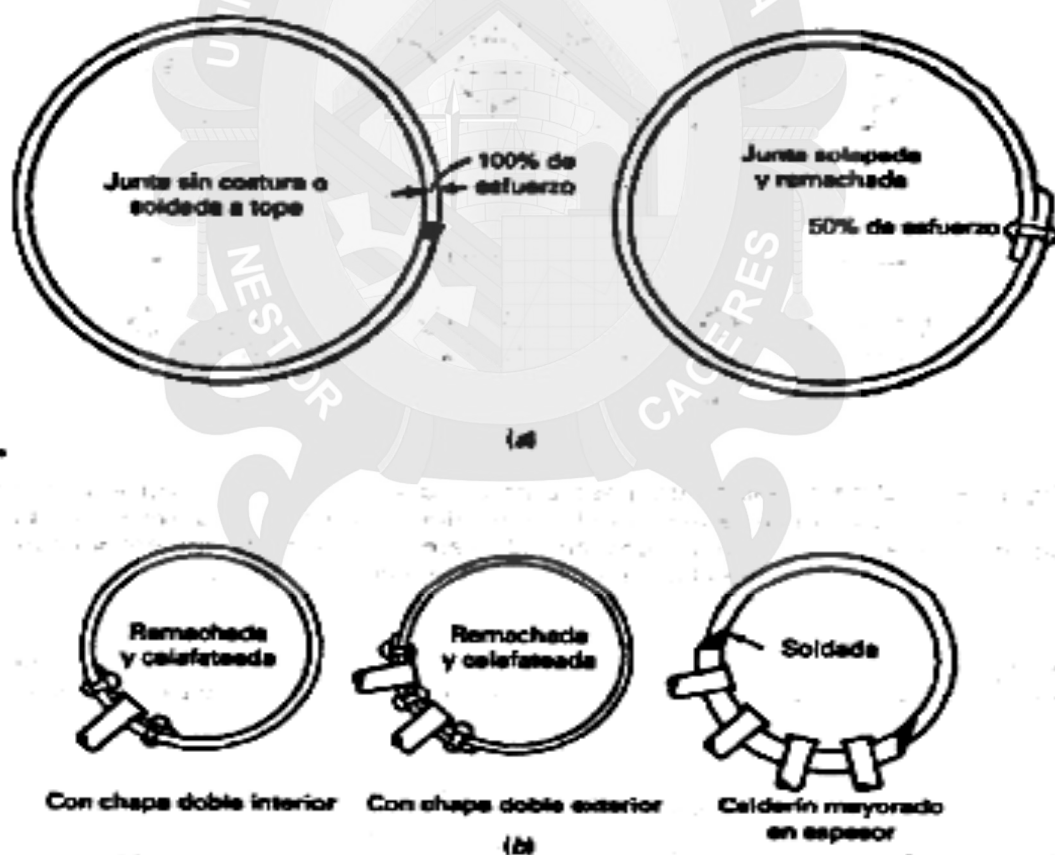


Figura 4.12. La eficiencia o rendimiento de calderines y juntas de virola se determinan por el tipo de construcción.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. *Manual de calderas*.

La eficiencia de una unión se halla como sigue: cuando el paso entre agujeros (taladros) es igual (Fig. 9.7s de la página siguiente):

$$Eficiencia = \frac{p - d}{p} \dots \dots \dots \text{Fórm. 10}$$

Dónde: p = paso o distancia longitudinal entre agujeros, pulgadas o mm.

d = diámetro del agujero, pulgadas o mm.

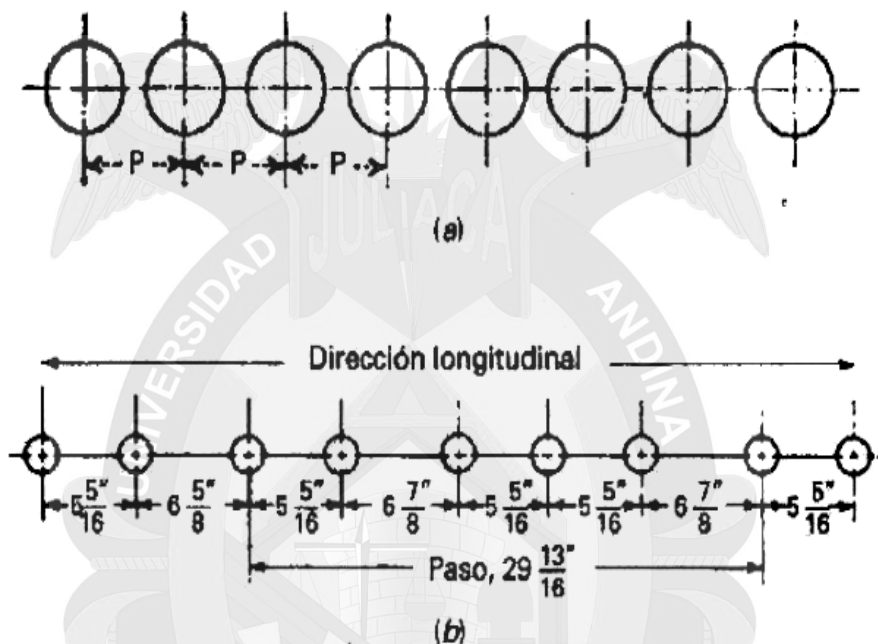


Figura4.13. Determinación del paso para calcular la unión.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

Si el paso de los agujeros o taladros es desigual (Fig. 9.7b), deberá seleccionarse una unidad longitudinal de longitud en la que estén incluidos todos los pasos desiguales. Así pues:

$$Eficiencia de la union = \frac{p - nd}{p} \dots \dots \dots \text{Fórm. 11}$$

Dónde:

p = longitud o paso seleccionado para incluir todas las variaciones de paso, pulgadas o mm.

d = diámetro de los taladros o agujeros, pulgadas o mm.

n = número de taladros en la longitud seleccionada.

El código ASME, Sección I, proporciona métodos para hallar la eficiencia de uniones diagonales por medio de gráficos. La eficiencia de las uniones usuales de tubos es bastante baja, normalmente del 35 por 100 al 50 por 100. En tiempos pasados, en la práctica de calderas roblonadas, a menudo, la resistencia de la unión se reforzaba con una chapa o doble espesor sobre la sección de unión de los taladros. Los agujeros o taladros estaban en toda la sección; así, aunque la eficiencia de la unión no se aumentaba porque el espaciado del tubo permanecía inalterado, el espesor si se aumentaba (véase la Figura 4.12b). Como ilustra la Figura 4.13b, otro método para aumentar la resistencia de la unión es hacer el calderín en dos mitades longitudinales con los extremos longitudinales soldados y la zona de los taladros de mayor espesor. Las zonas de espesor desigual son mecanizadas normalmente en la zona de mayor espesor con un fresado de 3 a 1 para igualar el espesor de la chapa más delgada antes de la soldadura. Esto se hace para evitar la concentración de tensión en la junta o unión.

CALCULO DE LA PRESION ADMISIBLE

1. Para calderas antiguas, véase el código ASME de 1971. La ecuación siguiente utilizó para calcular la presión admisible de virolas o calderines:

$$P = \frac{0,8SEt}{R + 0.6t} \text{ o } t = \frac{PR}{0.8SE - 0.6P} \dots\dots\dots \text{Fórm. 12}$$

2. Para construcción soldada o sin costura, con el refuerzo de soldadura eliminada sustancialmente y la chapa de refuerzo también eliminada, utilice la ecuación de la Sección I:

$$P = \frac{SE(t - C)}{R + (1 - y)(y - C)} \text{ o } t = \frac{PR}{SE - (1 - y)P} \dots\dots\dots \text{Fórm. 13}$$

Dónde:

P = presión máxima admisible, en psi o kg/cm².

S = máxima tensión admisible para la temperatura de trabajo del metal, o kg/cm².

t = mínima espesor necesario, pulgadas a cm.

R = radio interior del cilindro o virola, pulgadas o cm.

E = eficiencia de la unión. (E = eficiencia de las juntas longitudinales soldadas o de las uniones entre taladras, la que sea menor. $E = 1$ para cilindros sin costuras, y $E = 1$ para juntas soldadas, supuesto que todo el refuerzo sobre

las juntas longitudinales esta eliminado y nivelada la soldadura con la chapa. Para viejas calderas soldadas $E = 0,9$ si la unión no está repasada uniformemente. E = eficiencia para juntas remachadas. E = eficiencia para uniones entre taladros.)

C = factor dependiente de si el tubo a virola esta taladrado (para calderines o virolas $C = 0$; véase el Código para otras especificaciones).

y = factor que depende de si el acero es férreo o austenítico según se especifique a continuación:

Temperatura	Valores de y	
	Acero férreo	Acero austenítico
Menor de 900 °F (480 °C)	0,4	0,4
950 °F (510 °C)	0,5	0,4
1000 °F (538 °C)	0,7	0,4
1050 °F (566 °C)	0,7	0,4
1100 °F (593 °C)	0,7	0,5
1150 °F (621 °C)	0,7	0,7

Ejemplo 1. Problema de una caldera antigua roblonada. Una caldera remachada tiene 66" (1,676 metros) de diámetro y 16 pies (4,80 metros) de longitud. La chapa de la virola es de 7/16" (11,11 mm) de espesor, la tensión admisible es de 13.750 lb/in² (962,5 kg/cm²) y la presión admisible es de 125 psi (8,75 kg/cm²). ¿Cuál es la eficiencia mínima admisible circunferencial de la junta periférica?

SOLUCIÓN. Utilizando la fórmula

$$P = \frac{0,8SEt}{R + 0.6t} \dots\dots\dots \text{Fórm. 14}$$

Sustituyendo valores:

$$125 = \frac{0,8 \ 13.750 \ E \ 0.4375}{33 + 0.6 \ 0.4375} \dots\dots\dots \text{Fórm. 15}$$

Y despejando:

$$E = \frac{125 \ 33.2625}{11000(0.4375)} = 0.864 = 86.4\%$$

$$\text{Eficiencia circunferencial} = \frac{86,4 \%}{2} = 43.2\%$$

La resistencia circunferencial de la virola debe ser siempre al menos la mitad que la de la junta o unión longitudinal.

Ejemplo 2. Virola de espesor desigual a causa de problemas de unión. ¿Cuál es la máxima presión de trabajo admisible en un calderín soldado que tiene una chapa de 1,469" (37,31 mm) de espesor y 2,406" (61,11 mm) de espesor de la chapa tubular? El diámetro exterior de la virola es de 57,75" (1.454,15 mm). El diámetro exterior de la chapa tubular es de 58,688" (1.490,68 mm). El material es un acero al carbón tipo SA-515-70 y la temperatura del metal no es mayor de 650 °F (343 °C). La eficiencia de la unión es de 0,429 y la eficiencia de la junta soldada es del 100 por 100. La tensión admisible para este acero ferrítico es de 17.500 lb/in² (1.225 kg/cm²). Los cálculos para la presión admisible deben hacerse por duplicado, como sigue.

Solución. Basándose en la unión por soldadura, en el espesor de la chapa y en el radio interior de la virola o chapa tubular:

$$P = \frac{SE(t - C)}{R + (1 - y)(t - C)} \dots \dots \dots \text{Fórm. 16}$$

$$P = \frac{D}{2} - t = \frac{57.75"}{2} - 1.469 = 27.406"$$

$$y = 0.4 \quad y \quad C = 0$$

Así pues:

$$P = \frac{17.500 * 1 * 1.469}{27.406 + 1 - 0.4 * 1.469} = 908 \text{ psi} \quad 63,62 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Basándose en el espesor de la chapa tubular y eficiencia de la unión:

$$R = \frac{58.688}{2} - 2.406 = 26.938"$$

Utilizando la misma ecuación:

$$P = \frac{SE t - C}{R + 1 - y y - C}$$

$$P = \frac{17500 * 0,429 * 2.406}{26.938 + 1 - 0.4 * 2.046} = 636.44 \text{ psi} \quad 44.55 \text{ kg cm}^2$$

La presión más baja domina, la presión admisible es 636,44 psi (44,55 kg/cm²).

Ejemplo 3. Problema de eficiencia de la unión y presión admisible de virola. El calderín de lodos de una caldera de tubos de agua tiene un espesor de chapa de 5/8" (15,9 mm) con un diámetro exterior de 43.25" (1.098,6 mm) y tiene taladros para tubos de 3 9/32" (83,341 mm) de diámetro separados horizontalmente con un paso

de 5 5/16" (134.93 mm) en grupos de tres (Figura 4.14b) y dos tubos con 6 7/8" (174,63 mm) entre grupos. El espesor de la chapa es de 1/2" (12,7 mm). Los tubos y la chapa del calderín están soldados según exige el código ASME. El material para ambos es acero SA-285C con temperaturas máximas por debajo, de 650 °F (343 °C) ¿Cuál es la máxima presión admisible para este calderín si el diámetro interior es de 43.125" (1.095,375 mm)?

Solución. Utilizando la ecuación:

$$P = \frac{SE t - C}{R + \frac{1 - y}{y - C}} \dots \dots \dots \text{Fórm. 17}$$

Dónde:

S = 13.800 lbs/in² (966 kg/cm²), obtenido

E = 1 o la eficiencia calculada de la soldadura de unión.

C = 0

y = 0,4.

Basándose en la virola de:

$$R = \frac{43.125}{2} - 0.5 = 21.0625" (534.988 \text{ mm}) \text{ con } t = 0,5"$$

Sustituyendo en la ecuación principal de P:

$$P = \frac{13800(0.5 - 0)}{21.0625 + (1 - 0.4)(0.5 - 0)} = 323 \text{ psi } (22,6 \text{ kg/cm}^2)$$

Basándose en la chapa tubular (es necesario calcular primero la eficiencia de la unión):

$$E = \frac{p - nd}{p} = \frac{29.8125 - 5(3.28125)}{29.8125} = 0.449$$

$$R = \frac{43.25}{2} - \frac{5}{8} = 21" (533,4 \text{ mm})$$

Sustituyendo en la ecuación de P:

$$P = \frac{13.800 \cdot 0.449 \cdot 0.625 - 0}{21 + \frac{1 - 0.4}{0.625 - 0}} = 181.17 \text{ psi } 12.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Y esta es la presión admisible.

Virolas de chapa de gran espesor. Las virolas de gran espesor se definen en la Sección I como aquellas cuyo espesor de chapa de virola excede del 50 por 100 del radio interior; bajo estas condiciones se utiliza la siguiente ecuación para calcular la presión admisible de la virola o colector:

$$P = SE \frac{Z - 1}{Z + 1} \dots \dots \dots \text{Fórm. 18}$$

Dónde:

S = tensión admisible.

P = presión máxima admisible.

E = eficiencia de la unión o junta longitudinal o eficiencia de la soldadura.

$$Z = \frac{(SE + P)}{(SE - P)} = \frac{(R + t)^2}{R^2} = \frac{R_0^2}{R^2} \dots \dots \dots \text{Fórm. 19}$$

Dónde:

t = mínimo espesor de la chapa de la virola, pulgadas o cm.

R = radio interior de la zona más débil (o delgada) de la virola, pulgadas o cm.

Ro = radio exterior de la zona más débil o delgada de la virola, pulgadas o cm.

Ejemplo de cálculo de presión admisible de una virola de gran espesor. Un colector cilíndrico de una caldera de tubos de agua está hecho de acero SA-204B y trabaja a 650 .F (340 .C). El diámetro exterior es de 12" (305 mm) y de 3" (76,2 mm) de espesor. Cálculos la presión admisible.

Solución. De la tabla de características de los aceros (Figura A8 del anexo) se me que para el acero SA-204B, la tensión S = 17.500 lbs/in² (1.225 kg/cm²).

$$R = \frac{12 - (2 * 3)}{2} = 3"$$

El espesor de 3" excede del 150 por 100 del radio (1,5")

$$E = 1(\text{junta soldada})$$

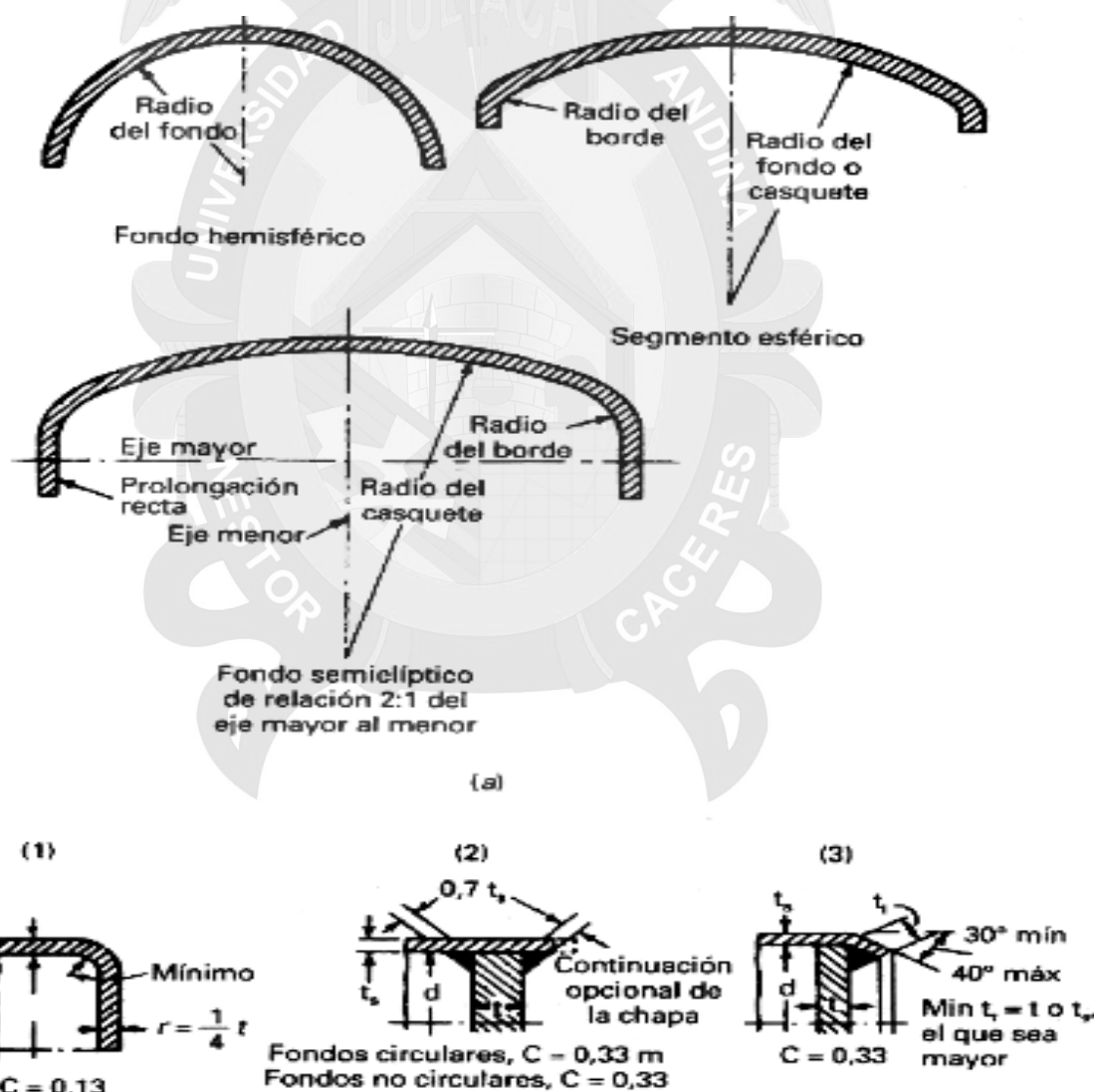
$$Z = \frac{R^2}{R_0^2} = \frac{6^2}{3^2} = 4$$

Sustituyendo en la ecuación:

$$P = 17.500 \cdot 1 \cdot \frac{4 - 1}{4 + 1} = 10.500 \text{ psi} \quad 735 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

FONDOS CURVADOS

Los fondos de calderín de la mayoría de las calderas de tubos de agua convencionales están cerrados con un fondo curvado esférico o elipsoidal. Cuanto más corto sea el radio de curvatura, esto es, cuanto menor sea la distancia o aproximación a la forma semiesférica de radio reducido, Canto mayor será la resistencia a la presión interior. Consecuentemente, el código ASME especifica que el radio no será mayor que el diámetro de la virola o calderín al cual esta soldado, de otro modo el fondo requiere refuerzo o nervadura. Hay cuatro tipos de fondos huecos no arriostrados permitidos por el Código: segmento esférico, semielipsoidal, semiesférico y fondo plano. Los tres primeros son fondos bombeados (Figura 4.14a).



Los fondos curvados se calculan para la presión admisible según los siguientes métodos dependiendo del tubo de fondo y de si tiene o no agujero de hombre. Para segmentos esféricos sin manguito, utilice la fórmula:

$$t = \frac{5PL}{4.8S} \dots \dots \dots \text{Fórm. 20}$$

Dónde:

S = máxima tensión admisible, lbs/in² o kg/cm². (Sección II, parte D.)

t = espesor del fondo, pulgadas o cm.

P = máxima presión admisible, psi o kg./cm².

L = radio del lado cóncavo con el cual el fondo esta curvado, pulgadas o cm.

Para fondos semielípticos (semielipsoidales) con presión por el lado cóncavo (sin agujero de hombre), utilice la fórmula de la chapa para virolas, pero suponga que la chapa es sin costura (no hay eficiencia de unión). Para fondos semiesféricos sin agujero de hombre y presión en el lado cóncavo, utilice la siguiente expresión:

$$t = \frac{PL}{1,6S} \dots \dots \dots \text{Fórm. 21}$$

0

$$t = \frac{PL}{2S - 0,2P} \dots \dots \dots \text{Fórm. 22}$$

Dónde:

t = espesor requerido, pulgadas o cm.

P = presión máxima admisible, psi o kg/cm².

S = tensión máxima admisible, lb/in² o kg/cm².

L = radio con el cual se ha construido el fondo, pulgadas o cm.

La ecuación 9.2 puede utilizarse para fondos de más de 1/2" (12,7 mm) de espesor con virolas o calderines de más de 5" (125 mm) de diámetro y que están integralmente agregados a calderines sin costura o que están unidos por soldadura de fusión sin arriostamientos. Si el espesor requerido del fondo en la ecuación anterior excede del 35,6 por 100 del radio interior, debe utilizarse la fórmula siguiente para el espesor del fondo:

$$t = L(Y^{1/3} - 1) \dots \dots \dots \text{Fórm. 23}$$

Dónde:

$$Y = \frac{2 S + P}{2(S - P)} \dots \dots \dots \text{Fórm. 24}$$

Fondos curvos con agujeros de hombre. Cuando uno de los fondos-segmento de esfera, semielíptico o hemisférico-tiene un agujero de hombre embridado o una abertura de acceso que excede de 6" (153 mm) en cualquier dimensión, se tiene en cuenta de la siguiente manera:

1. Por la fórmula para el segmento de fondo esférico.
2. Debe incrementarse el espesor del fondo en un 15 por 100, pero en ningún caso menos de 1/8" (3,2 mm) sobre el espesor obtenido per la fórmula.
3. Si el radio al cual se curva el fondo es menor del 80 por 100 del diámetro de la virola, el espesor del fondo con abertura de hombre embridada debe hallarse (o calcularse) haciendo el radio de la curva igual al 80 per 100 del diámetro de la virola.

Ejemplo de cálculos de fondo curvado. Un fondo curvado semielipsoidal de 42" (1.067 mm) de diámetro tiene un agujero de hombre embridado, es de 7/8" (22.2 mm) de espesor, tiene un radio de curvatura de 84" (2.134 mm) con la presión actuando sobre el lado cóncavo. El material es un acero SA-285C. ¿Cuál es la presión admisible para este fondo?

Solución. A causa del agujero de hombre embridado, la ecuación del segmento esférico debe utilizarse para calcular la presión admisible. Despejando esta ecuación para P:

$$= \frac{4.58St}{5L}$$

Con:

$S = 13.800 \text{ lbs/in}^2 = 966 \text{ kg/cm}^2$ (de la Sección II, parte D).

$t = 0.875" - 0.131" = 0.744"$ (el espesor debe reducirse en un 15 por 100: $0.875 * 0,15 = 0.131$ 6 0.125 . lo que sea mayor).

Para fondos semielipsoidales el Código exige usar un radio de fondo igual al 80 por 100 del diámetro de la virola, o:

$$L = 0,8 (42) = 33,6"$$

Y substituyendo valores en P:

$$P = \frac{4,8(13.800)(0,744")}{5 \cdot 33,6} = 293,35 \text{ psi } (20,5 \text{ kg/cm}^2)$$

Ejemplo. Un fondo semiesférico de 54" (1.372 mm) de diámetro interior está soldado a la virola del calderín de una caldera de tubos de agua con presión en el lado cóncavo. La soldadura cumple los requisitos del Código. El material del fondo es un acero SA-387 grado 2 con tensión admisible de 13.800 Lbs/in² (966 kg/cm²). La caldera ha estado trabajando a 750 psi (52,5 kg/cm²) y 600 °F (316 °C) de sobrecalentamiento, debería ser el espesor del fondo sin agujero y con agujero de hombre?

Solución. Sin agujero de hombre:

$$t = \frac{PL}{2S - 0,2P}$$

Con:

$$P = 750 \text{ psi}$$

$$S = 13.800 \text{ lbs/in}^2$$

$$L = 27"$$

Substituyendo:

$$t = \frac{750(27)}{2 \cdot 13800 - 0.2(750)} = 0.738" (18,73 \text{ mm})$$

Con agujero de hombre:

Se requiere $t = \frac{5PL}{4,8(13800)}$ más 0,15t o 0,125", lo que sea mayor

Substituyendo como antes:

$$t = \frac{5 \cdot 750 \cdot 27}{4,8 \cdot 13800} = 1.53"$$

Se requiere $t = 1.53 + 0.15(1.53) = 1.76 - (44.7 \text{ mm})$

Cálculo del radio de curvatura con los datos de bombeo y cuerda de segmentos.

Véase la Figura 9.9a de la página siguiente. En el triángulo ABO:

R = hipotenusa del triángulo rectángulo

$$R^2 = \frac{C^2}{4} + (R - b)^2 \dots \dots \dots \text{Fórm. 25}$$

Despejando y operando:

$$R^2 = \frac{C^2}{4} + R^2 + b^2 - 2Rb \dots \dots \dots \text{Fórm. 26}$$

$$R = \frac{C^2}{8b} + \frac{b}{2} \dots \dots \dots \text{Fórm. 27}$$

Ejemplo. Cuerda $C = 38"$ (965,2 mm) en un fondo con un bombeo $B = 4"$ (102 mm).

Por tanto:

$$R = \frac{(38)^2}{8(4)} + \frac{4}{2} = 47,13" (1.197 \text{ mm})$$

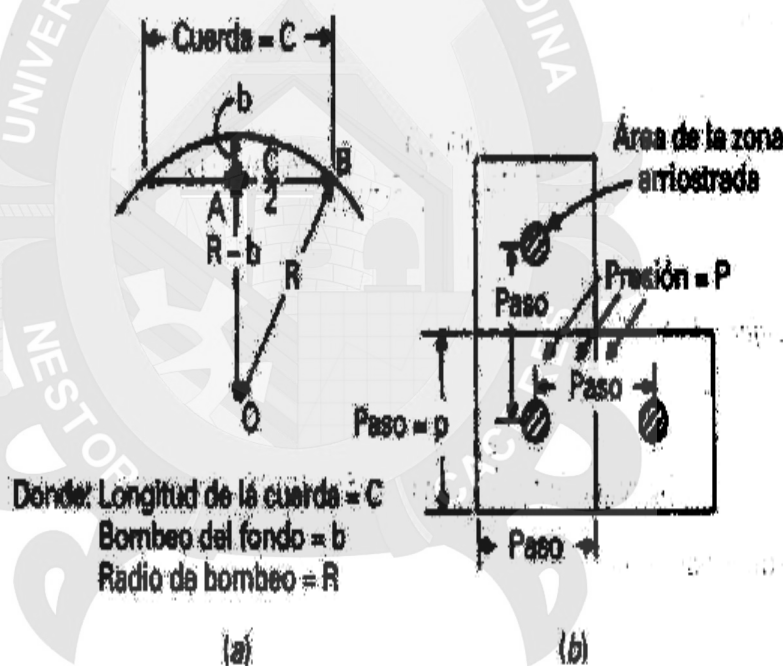


Figura 4.15. (a) El radio de bombeo puede calcularse mediante la longitud de la cuerda C y la flecha b . (b) Una riostra debe contrarrestar la fuerza creada por la preside actuante sobre el área limitada por la dimensión del paso.

Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

FONDOS PLANOS

El código ASME tiene varias ecuaciones para fondos planos, dependiendo de si el fondo es circular, rectangular o cuadrado. Para un fondo típica circular, la ecuación usada es:

$$t = d \frac{CP}{S} \dots \dots \dots \text{Fórm. 28}$$

Dónde:

t = mínimo espesor requerido, pulgadas o cm.

d = diámetro, medido según indica el Código.

C = un factor, dependiente del método de unión (Figura 4.15b).

S = valor de la tensión máxima admisible, lbs/in² o kg/cm².

P = valor de la presión máxima admisible, psi a kg/cm².

t_r = espesor requerido para la virola a la cual se une el fondo, pulgadas o cm.

t_s = espesor actual para la virola a la cual se une el fondo, pulgadas o cm.

m = relación de t_r a t_s .

(Consúltase PG- 31 de la Sección 1 y la Figura PG- 31 para modos de unión permitidos por el Código.)

Ejemplo. Un fondo plano no arriostrado está unido por soldadura a la virola como se muestra en la Figura 9.8b (2) y con tratamiento térmico posterior cumpliendo los requerimientos del Código. El fondo plano es circular de un diámetro de 16" (406 mm) y 1 1/2" (38 mm) de espesor. La virola sin costura a la cual está soldado el fondo es de un espesor de 3/8" (9,53 mm) y los cálculos indican que solo se requiere un espesor de 5/16" (7,94 mm) para la virola. ¿Cuál es la presión admisible para el fondo plano?

Solución. Debe usarse la ecuación del fondo plano con los valores de:

$S = 13800 \text{ lb} / \text{in}^2$; $d = 16"$; $t = 1,5"$; $m = t_r / t_s = 5/16" / 3/8" = 0.3125 / 0.375 = 0.8333$; Y de la Figura 9.8b (2) obtenemos $C = 0,33$ $m = 0,33 (0,833) = 0,275$. Con ello, sustituyendo en:

$$t = d \frac{CP}{S} \dots \dots \dots \text{Fórm. 29}$$

Obtenemos:

$$1.5 = 16 \frac{0.275P}{13800}$$

$$P = \frac{13800}{0.275} \frac{1.5^2}{16} = 441 \text{ psi } (30,9 \text{ kg/cm}^2)$$

Para fondos planos no circulares se introduce un factor Z en la ecuación del fondo plano circular:

$$Z = 3.4 - \frac{2.4d}{D} \dots \dots \dots \text{Fórm. 30}$$

Dónde:

d = lado corto.

D = lado largo.

Ejemplo. Si el fondo anterior fuera rectangular con unas dimensiones de 10" x 16" (254 x 406 mm) y las demás condiciones fuesen las mismas, excepto que C = 0,33. ¿Cuál sería la presión admisible sobre este fondo plano rectangular?

Solución. Con d = 10" como lado menor del rectángulo, con S = 13.800 lbs/in². Para fondos no circulares:

$$t = d \frac{ZCP}{S} \dots \dots \dots \text{Fórm. 31}$$

$$C = 0.33$$

$$Z = 3.4 - \frac{2.4 \cdot 10}{16} = 1.9$$

Sustituyendo y resolviendo P:

$$1.5 = 10 \frac{1.9 \cdot 0.33 \cdot P}{13800}$$

$$\frac{1.5}{10} = \frac{1.9 \cdot 0.33 \cdot P}{13800}$$

$$P = \frac{13800}{1.9(0.33)} \frac{1.5^2}{10} = 495,2 \text{ psi } (34,66 \text{ kg/cm}^2)$$

REFUERZO Y ARRIOSTRAMIENTO (ATIRANTADO)

El primer punto a recordar en todos los problemas que tienen que ver con el reforzamiento o arriostrado es que la tensión de una riostra o tirante es debida a la presión actuante (en psi o kg/cm²) sobre el área de chapa soportada por el tirante o riostra. Esta presión total esta resistida por la resistencia interna del refuerzo (tensión unitaria) multiplicada por el área o sección neta del refuerzo. Estos hechos son la base de todas las fórmulas de los refuerzos.

Para calcular y resolver problemas de arriostramiento con tirantes y virotillos, es necesario establecer los requisitos del Código que establecen que el área requerida de una riostra (tirante o virotillo) en su mínima sección de corte debe hallarse por cálculo de la carga sobre dicha riostra, dividiendo esta por su tensión admisible sobre el tirante o riostra e incrementando el área o sección resultante por un factor de 1,1 (10 por 100) (véanse las Figuras 4.16b y 4.17 de la página siguiente). Puede desarrollarse en forma de ecuación, del modo siguiente, para usarla en problemas de tirantes/riostras:

$$\frac{\text{Carga sobre riostra}}{\text{Tensión admisible}} = \text{Área resistente de la riostra} \dots \dots \dots \text{Fórm. 32}$$

Estableciendo que:

S = tensión admisible, lb/in² o kg/cm².

a = Área de la riostra o tirante (normalmente circular), pulgadas² o cm².

p = paso del espaciado de las riostras o tirantes, pulgadas o cm.

P = presión de trabajo admisible, psi o kg/cm².

Así pues:

$$\frac{(p2 - a)P}{S} = \frac{a - (\text{area del orificio})}{1.1} \dots \dots \dots \text{Fórm. 33}$$

Adicionalmente al tirante o la riostra, la resistencia de la chapa entre tirantes debe ser la adecuada o la chapa se abombara entre los tirantes o riostras. El Código requiere que se compruebe esto mediante una de las siguientes ecuaciones:

$$t = p \frac{P}{CS} \quad o \quad P = \frac{St^2C}{p^2} \dots \dots \dots \text{Fórm. 34}$$

Dónde:

S = máxima tensión admisible, o kg/cm².

t = espesor requerido de la chapa, pulgadas o cm.

p = paso máximo, pulgadas o cm.

P = presión admisible máxima, psi o kg/cm².

C = factor dependiente del tipo de construcción.

Por ejemplo, $C = 2,1$ para riostras soldadas o atornilladas en chapas de no más de 7/16" (11,1 mm) de espesor, con los extremos remachados sobre ellas, y $C = 2,2$ si la chapa es de más de 7/16" (11,1 mm) de espesor.

La Sección I del código ASME lista otros valores de C ilustra acerca del paso a utilizar en la construcción soldada en ángulo, ilustrada en la Figura A-8 de la Sección I. El paso es, generalmente, de tirante a tirante o del punto de tangencia en superficies curvas al primer tirante, como se ilustra en la Sección I.

Ejemplo de problema sobre arriostrado. Cuestión (a): ¿Cuál es el máximo paso al cuadrado admisible de los tirantes o riostras en la chapa plana del hogar de una caldera con caja de fuegos, si las chapas están soportadas por tirantes roscados o riostras de 7/8" (22,2 mm) con orificios de seguridad de 3/16" (4,76 mm) en los extremos como se ve en la Figura 4.17? Los tirantes o riostras tienen 12 roscas en V por pulgada y la presión es de 115 psi (8 kg/cm²). El material de los tirantes o riostras es acero SA-675 con una tensión admisible de 12.500 lbs/in² (875 kg/cm²), mientras que el material de la chapa es SA-299 con una tensión admisible de 18.800 lb/in² (1.316 kg/cm²) para trabajo a 650 °F (343 °C). Cuestión (b): igual es el mínimo espesor de chapa requerido entre las riostras?

Solución. Utilice esta ecuación para la cuestión (a):

$$p^2 - a P = \frac{a - 0.0276}{1.1} S \dots \dots \dots \text{Fórm. 35}$$

Dónde: $u = 0,4190$ in² (área de la sección de un tornillo de 7/8" roscado). El área del orificio de seguridad de 3/16" es de 0,0276 in².

$$P = 115 \text{ psi.}$$

$$S = 12.500 \text{ lb/in}^2$$

Sustituyendo y resolviendo para el paso p :

$$p^2 - 0.419 \cdot 115 = \frac{0.419 - 0.0276}{1.1} 12.500 = 4447.73$$

$$p^2 = \frac{0.419 + 4447.73}{115} = 39.09$$

$$p = 6.25" (158.8mm)$$

Para la cuestión (b), use:

$$t = p \frac{\overline{P}}{CS} \dots \dots \dots \text{Fórm. 36}$$

Dónde:

$$p = 6.25"$$

$$P = 115 \text{ psi}$$

$$C = 2.1 \text{ (suponiendo que la chapa es menor de } 7/16")$$

$$S = 18.800 \text{ lb/in}^2$$

Sustituyendo y resolviendo para t:

$$t = 6.25 \frac{115}{(2.1)(18.800)} = 0.337" (8.57 \text{ mm})$$

Las riostras deben utilizarse para atirantar las chapas interiores del hogar a la exterior o chapa envolvente (Figura 4.17). El tamaño y el paso del tirante tienen mucho que ver con la presión máxima admisible de la caldera.

Es de notar en la Figura 4.17 que los finales están torneados ligeramente de forma que el área del tornillo en la raíz de la rosca no sea menor que la del cuerpo central. Sin embargo, algunos tirantes roscados están fabricados sin aguzar los finales; así, al calcular el área neta se utilizará el diámetro de la raíz de la rosca.

Riostras diagonales. Para arriostrar las partes planas de los colectores que no están soportados por los tubos, se usan riostras en diagonal por encima de los tubos. Este arriostramiento no es tan directo como el del tirante longitudinal y también atiranta las chapas. Pero el tirante diagonal deja más sitio encima de los tubos para inspección, reparación y limpieza.

El Código permite que las riostras diagonales o «tirantes de esquina» puedan calcularse como riostras rectas similares al método de la riostra atirantada. Este método hace apelación a la multiplicación de la presión por el área de un lado o

termino, con la tensión de sujeción de la riostra en el otro lado o término de la ecuación. Por ejemplo, si la relación de L/l es 1,15 o menos (en una caldera pirotubular horizontal), el cuerpo de la riostra se calcula como tirante recto. Pero la tensión admisible a utilizar es del 90 por 100 de la permitida para un tirante recto. Si L/l es mayor de 1,15, el cuerpo del tirante se calcula incrementando el Brea requerida del tirante por L/l . En forma de ecuación, esto se expresa como sigue:

Dónde:

a = Área de la sección recta del cuerpo de la riostra.

A = área de la sección diagonal del cuerpo de la riostra.

l = longitud de los ángulos recto y normal al área a arriostrar

L = longitud de la riostra diagonal.

Las reglas del Código sobre pletinas o «palmas» que estén remachadas al final de las riostras diagonales requeridas exigen que la sección recta de esta parte de la riostra sea al menos 25 por 100 mayor que la del cuerpo principal de la riostra.

Ejemplo. El área neta de un segmento a arriostrar es de 504 in² y esta soportada por siete riostras diagonales de 1 1/4" de diámetro (1,227 in² de área neta). La longitud de estas diagonales no menor que 1,15 veces la longitud de un tirante directo y no excede de 120 diámetros. Se usa el acero SA-285C para construcción soldada según el Código. ¿Qué presión es permisible en el segmento arriostrado?

Solución. El material SA-285C grado C (tabla de la Figura 9.3) tiene una tensión admisible de 13.800 lb/in². Todas las temperaturas cede por debajo de 400 °F (204 °C)

$$AP = 0.97aS \dots\dots\dots \text{Fórm. 37}$$

a = área de una riostra = 1.227 in²

A = área a arriostrar = 504 in²

Sustituyendo en la ecuación y resolviendo para P:

$$P = \frac{(0.9)(7)(1.227)(13900)}{504} = 213.2 \text{ psi } (14.92 \text{ kg/cm}^2)$$

Ejemplo. El área a arriostrar en la chapa frontal tubular de una caldera es de 136 in². Si se refuerza con dos riostras diagonales del tipo soldado. ¿Qué diámetro de riostra

se requeriría para soportar con seguridad 165 psi, $L = 29 \frac{1}{4}$ "; $1 = 28 \frac{7}{8}$ ". El material es SA-285C para riostras por debajo de 600 °F (315 °C). La tensión admisible es de 13.800 lbs/in² (966 kg/cm²).

Solución.

$$\frac{L}{l} = \frac{29.25}{28.625} = 1.02$$

menos que 1,15, puede calcularse como tirante recto.

Utilizando:

$$AP = 0.9 naS \dots \dots \dots \text{Fórm. 38}$$

Dónde:

$$A = 136 \text{ in}^2$$

$$n = 2 \text{ riostras}$$

$$P = 165 \text{ psi}$$

$$S = 13.800 \text{ lbs/in}^2$$

Sustituyendo y resolviendo para a :

$$136(165) = 0,9(2)13.800(a)$$

$$a = \frac{136(165)}{1.8(13800)} = \frac{22440}{24840} = 0.903 \text{ in}^2$$

De ese modo, riostras de $1 \frac{1}{8}$ " deberán utilizarse, ya que:

$$\frac{\pi D^2}{4} = 0.903 \text{ in}^2 \dots \dots \dots \text{Fórm. 39}$$

y resolviendo, $D = 1.1$ ". El tamaño más próximo es $1 \frac{1}{8}$ " (28,58 mm).

Áreas de las placas tubulares a arriostrar. El Código tiene dos ecuaciones para determinar el área a arriostrar en las superficies planas, o sea las áreas o zonas sin agujeros tubulares denominadas segmentos.

Segmentos de una virola embreada. El área a arriostrar está separada 2" (50,8 mm) de los tubos y a una distancia d de la virola como se muestra en la Figura 4.18b (1).

La distancia d es la mas grande de las siguientes:

d = el radio exterior de la brida, Pero sin exceder 8 veces el espesor de la virola, o

$$d = 80 \frac{t}{P} \dots \dots \dots \text{Fórm. 40}$$

donde:

d = distancia no arriostrada desde la virola, pulgadas o cm.

t = espesor de la virola, pulgadas o cm.

p = presión de trabajo máxima admisible, psi o kg/cm².

El Área nets A a arriostrar para una virola embreadada es pues:

$$A = \frac{4(H - d - 2)^2}{3} \frac{2(R - d)}{(H - d - 2)} - 0.608 \dots \dots \dots \text{Fórm. 41}$$

donde:

A = Área a arriostrar, in o cm².

H = distancia desde los tubos hasta la virola, pulgadas o cm.

d = diámetro exterior de la brida, pulgadas o cm. Para virolas no embreadadas, $d = 0$.

R = radio o diámetro de la virola, pulgadas o cm.

Ejemplo. (a) Una caldera de 66" (167,64 cm) de tubos de humos está trabajando a 140 psi (9,8 kg/cm²) de presión. Las placas embreadadas frontales son de 9/16" (14,3 mm) de espesor. La distancia desde los tubos superiores a la virola es de 24" (609,6 mm) y $d = 3$ " (7,62 cm) [Fig. 9.116(1)] ¿Cuál es el área a arriostrar?

(b) La placa frontal incumple los requisitos del Código de la soldadura. Si esta placa se va a arriostrar mediante riostras diagonales de 1 1/4 (32 mm) de diámetro. ¿Cuántas riostras se precisaran si L no excede de l más de 1,15 veces y se admite una tensión de 9.500 lbs/in² (665 kg/cm²) en la sección normal de la riostra?

Solución.

(a)

$$A = \frac{4(24 - 3 - 2)^2}{3} \frac{2(33 - 3)}{24 - 3 - 2} - 0.608 = 768.6 \text{ in}^2 = 0.495587 \text{ m}^2$$

(b)

$$PA = 768,6 P = 0,9 naS \dots \dots \dots \text{Fórm. 42}$$

Dónde:

n = número de riostras

a = área de cada riostra en in²: $n \times 2/4 = n \times 1,252/4 = 1,2272 \text{ in}^2 = 7,91 \text{ cm}^2$ S = tension admissible, lb. /in² o kg/cm²P = preside admisible, psi o kg/cm²

Dando valores:

$$768.6(140) = 0.9(1.2272)9.500n$$

$$n = 10.26$$

Asi que se colocaran 11 riostras.

Ejemplo. ¿Cuál sería el área a arriostrar según los datos del problema anterior si la placa frontal no fuese embreadada?

Solución. Utilice in misma ecuación siguiente pero con d = 0:

$$A = \frac{4(H-d-2)^2}{3} \frac{2R-d}{H-d-2} - 0.608$$

$$A = \frac{4(24-2)^2}{3} \frac{2(33)}{24-2} - 0.608 = 998 \text{ in}^2 = 0.64387 \text{ cm}^2$$

En las antiguas calderas de hogar interior, el segmento do las chapas tubulares por encima de la fila superior de tubos requería arriostramiento. Para esto, había tres métodos comunes. En una caldera de este tipo que no excediera de 36" (914 mm) de diámetro o 100 psi (7 kg/cm²) de presión de trabajo, se remachaban angulares de acero de otras formal estructurales como úes de acero a la chapa del segmento. Estas formas estructurales salientes eran de dimensiones proporcionadas para tener suficiente resistencia a la flexión para aguantar la carga de presión. Para calderas que excedan de 36" (914 mm) de diámetro o de 100 psi (7 kg/cm²) de presión de trabajo, el segmento plano de las placas tubulares requiere arriostramiento bien mediante riostras diagonales entre la chapa tubular y la virola a por medio de riostras que atirantan ambas placas a través de toda la longitud de la caldera (entre placas) [Fig. 9.11b (2)]. Estas últimas son normalmente preferibles, porque dejan más

espacio dentro de la caldera para limpieza e inspección. Las riostras longitudinales pueden hacer bastante difícil para un operario o inspector moverse cerca de los tubos de humos en el interior de la caldera.

Había tres tipos generales de riostras diagonales para conexión mediante remaches: el Houston, el MacGregor y el Sunlly. Es importante mantener todos ellos bajo tensión.

El arriostrado de la sección de placa tubular por debajo de los tubos de humos de las calderas de hogares interiores y similares está afectado por las riostras longitudinales. Estas riostras conectadas, roscadas en su extremo anterior y articuladas sobre la placa trasera según se ve en las Figuras 4.18a (3) y 4.18b (2). Los finales frontales de estas riostras longitudinales inferiores -normalmente en número de dos- pasan a través la placa tubular frontal con tuercas y arandelas exteriores e interiores. Se hacen estancos a las fugas por medio de empaquetaduras metálicas blandas o anilladuras de varios tipos bajo las tuercas y arandelas. La razón de porque los finales traseros de las riostras longitudinales no pasan a través de la placa tubular trasera sino que se articulan interiormente a dicha placa es para que el fuego o calor a elevada temperatura no dale la tuerca y roscados finales.

La Figura 4.19a ilustra la superficie neta a arriostrar cuando la distribución y colocación de tubos es irregular. Las zonas adyacentes a los hogares cilíndricos, como se ve en la Figura 9.12b, pueden no necesitar arriostrado en tanto en cuanto la distancia sea igual o menor de 1 1/2 veces el paso, siempre que el paso este calculado por la ecuación de la riostra roscada y se utilice el valor de C recomendado para dicha ecuación.

VIGAS Y RIOSTRAS RADIALES. El tirante de arriostramiento (Figura 4.20a) fue muy utilizado antiguamente para soportar las chapas de la bóveda del hogar de las locomotoras. Pero ha sido ampliamente reemplazado para este objetivo por la riostra radial (Figura 4.20b). Todavía es utilizado para soportar las partes superiores de las cámaras de combustión de la caldera escocesa marina. El virotillo o tirante consta de una viga de fundición tubular con sus extremos apoyados sobre las chapas del hogar o caja de fuegos. Soporta la chapa bóveda cuasi-plana (la parte superior de la cámara de combustión) por medio de tornillos o espárragos roscados.

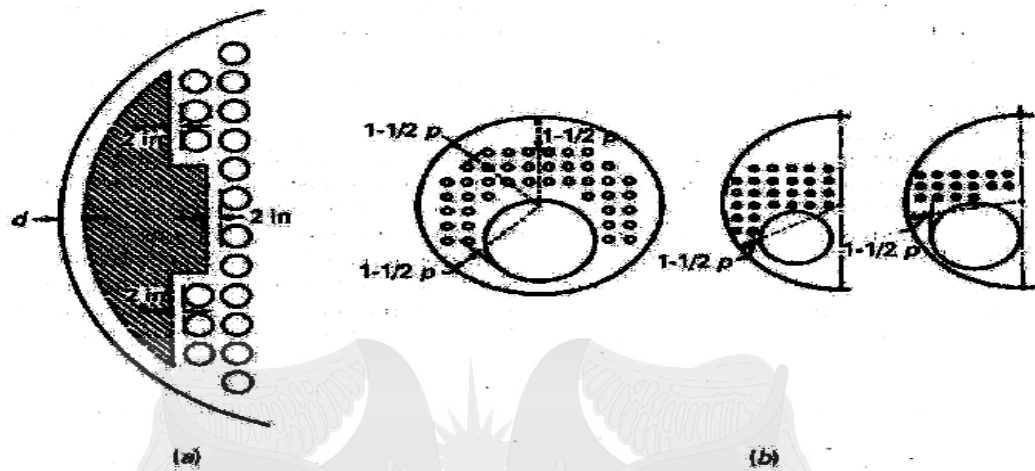


Figura 4.16. Área a arriostrar.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

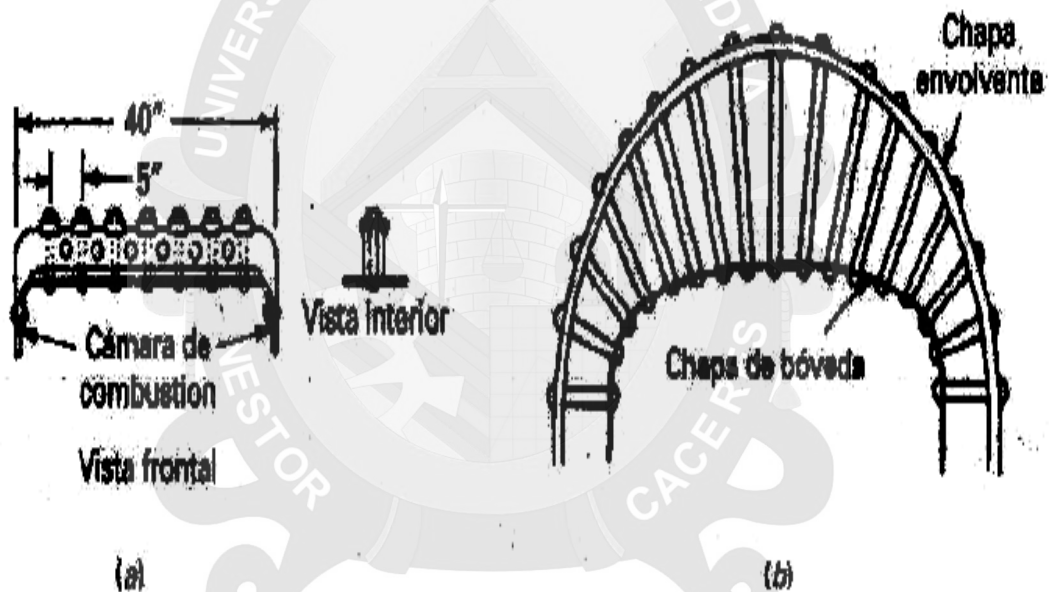


Figura 4.17. (a) Un tirante viga o virotillo se utiliza para soportar la bóveda de la caja de fuego (hogar) de locomotoras y calderas escocesas del hogar interior (marinas). (b) Tirantes radiales.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

Los tirantes radiales son más flexibles y tienden a acumular menos recubrimientos (o depósitos) de circulación que los virotillos. Casi la (mica ventaja de los tirantes viga o virotillos es que pasan rectos a través de las chapas mejor que en Angulo como los tirantes radiales. El código ASME de calderas tiene ejemplos sobre el use de ecuaciones especiales para los virotillos.

ARRIOSTRADO DEL HOGAR CONTRA SU COLAPSO

Las chapas del hogar de una caldera y de otros partes internas de calderas deben resistir la presión sobre las superficies externas que tienden a producir el colapso (reventón). Esta tendencia al colapso se resiste mediante el arriostramiento del hogar o arriostrando la virola con tirantes y virotillos. Un hogar que no sobrepase los 38" (965 mm) de diámetro exterior puede ser auto soportante, y la utilización de riostras puede eliminarse supuesto que el espesor del hogar es suficiente para rigidizar y que la luz del hogar no es demasiado grande.

Método anterior a 1986. El código ASME de calderas proporciona las dos fórmulas siguientes para hogares circulares autosoportantes, no arriostrados y de no más de 4,5 diámetros de longitud de hogar. Cuando la longitud no excede de 120 veces el espesor de la chapa utilice:

$$P = \frac{51.5(3005 - 1.03L)}{D} \dots \dots \dots \text{Fórm. 44}$$

Cuando in longitud excede de 120 veces el espesor de la chapa, utilice la ecuación siguiente:

$$P = \frac{1.09(10^6)(t^2)}{LD} \dots \dots \dots \text{Fórm. 45}$$

Dónde:

P = presión máxima admisible, psi o kg/cm².

D = diámetro exterior del hogar, pulgadas o cm.

L = longitud total del hogar entre centros de soldaduras de placas, pulgadas o cm.

t = espesor de la chapa del hogar, pulgadas o cm.

Ejemplo. Determinar la presión admisible de trabajo para un hogar no arriostrado de una caldera pirotubular siendo el diámetro exterior del hogar de 26" (660 mm), espesor de chapa de 7/16" (11.11 mm) y longitud del hogar de 42" (1066.8 mm).

Solución.

$$130 \times 0.4375 = 52.38$$

Se aplica la Ecuación 9.3 (longitud menor de 1201):

$$P = \frac{51.5(300t - 1.03L)}{D} \dots \dots \dots \text{Fórm. 46}$$

Dónde:

$$t = 0,4375"$$

$$L = 42"$$

$$D = 26"$$

$$P = \frac{51.5[300(0.4375) - 1.03(42)]}{26} = \frac{51.5(87.99)}{26} = 174.3 \text{ psi } (12.2 \text{ kg/cm}^2)$$

MÉTODO POSTERIOR A 1986. Este método necesita utilizar diagramas de presión externa para determinar la presión admisible, algo parecida al método de los tubos de humos visto anteriormente.

Usando los mismos datos que en el ejemplo anterior y refiriéndonos a la Figura A10 del anexo:

Longitud del hogar, $L = 42"$ (1.066,8 mm).

Diámetro exterior del hogar = $26"$ (660,4 mm).

Espesor de chapa del hogar, $t = 0,4375"$.

El material del hogar es acero SA-210C con un límite elástico de 40.000 lbs/in² (2.800 kg/cm²). Deben obtenerse las siguientes relaciones o ratios para obtener el factor A de la Figura A10 del anexo:

$$\frac{L}{D} = \frac{42}{26} = 1.62 \dots \dots \dots \text{Fórm. 47}$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{26}{0.4375} = 59.4 \dots \dots \dots \text{Fórm. 48}$$

Refiriéndonos a la Figura A10 del anexo y utilizando estos ratios, se obtiene el factor $A = 0,00124$. Con este factor conocido y refiriéndonos ahora a la Figura A12 del anexo para hallar el factor B una temperatura de material mínima de 700 °F (371 °C), resulta un factor $B = 9.000$ de la derecha del gráfico. El código ASME proporciona la siguiente ecuación para la presión de trabajo admisible:

$$\text{Presión admisible } p = \frac{4B}{3 D_o t} \dots \dots \dots \text{Fórm. 49}$$

y sustituyendo valores:

$$P = \frac{4(9.900)}{3(59,4)} = 222,2 \text{ psi } (15.6 \text{ kg/cm}^2)$$

Si un hogar o caja de fuegos no cumple los requisitos de una unidad no arriostrada puede utilizarse uno de los tres métodos de soporte o apoyo siguiente:

1. Puede utilizarse un hogar ondulado o corrugado. Un tipo común de hogar ondulado se conoce como hogar Morrison. Puede utilizarse en una caldera de hogar interior y tubos de humo bien sea vertical u horizontal como la caldera escocesa marina.
2. El anillo Adamson es un dispositivo usado para rigidizar un hogar circular contra el aplastamiento o colapso bajo la presión exterior. Se utiliza principalmente en hogares horizontales, para el sedimento que puede depositarse en las bridas del lado de agua, ya que si estuviera en una caldera y hogar de eje vertical podría producir recalentamientos de la chapa.
3. Los tirantes y virotillos pueden usarse para arriostrar el hogar a la virola exterior a chapa cilíndrica envolvente. El tamaño y el paso de las riostras tienen mucho que ver con la máxima presión admisible en la caldera.

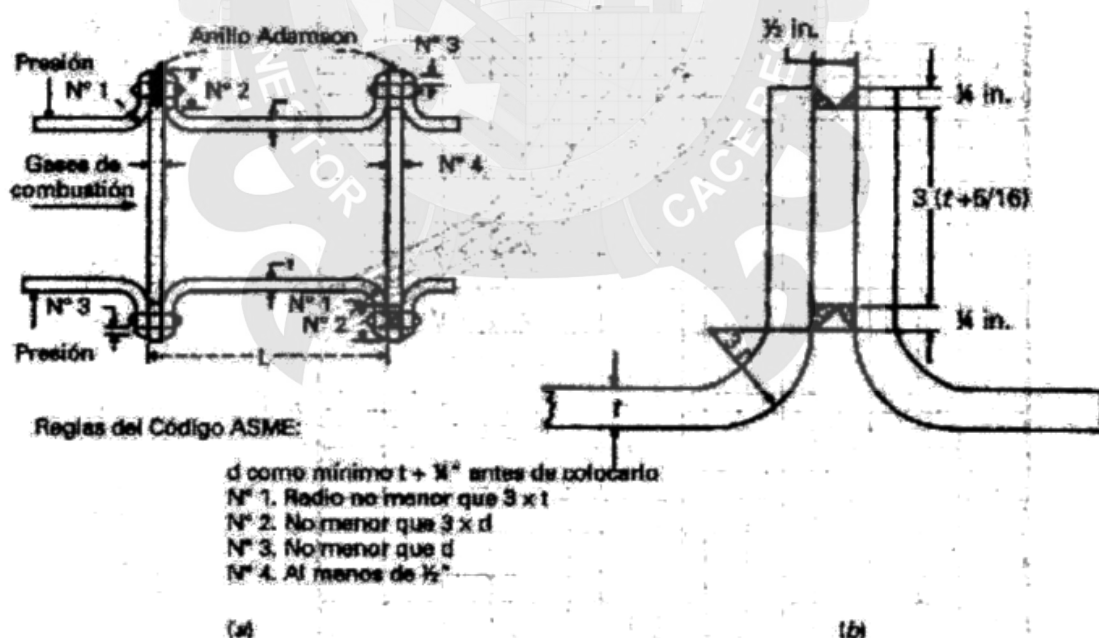


Figura 4.18. Los anillos Adamson se utilizan para rigidizar los hogares contra el aplastamiento debido a la presión que actúa exteriormente sobre el hogar.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. *Manual de calderas*.

El lector debería consultar la normativa (tanto americana, ASME; como española, Normas UNE) para una especificación más completa para hogares no arriostrados, cuyos detalles no se dan por no tener cabida en el espacio de este libro, y los cuales dan énfasis a los métodos de análisis para determinar la presión admisible.

REFUERZO DE ABERTURAS DE VIOLAS

Al abrir un agujero de hombre en la virola de una caldera, es necesario compensar el metal retirado. Esto se hace instalando un bastidor de refuerzo o brida de refuerzo cuando se necesita. El mínimo agujero de hombre elíptico permitido por el código ASME es de 11" x 25" (280 mm x 381 mm). Al cortar la chapa de virola para hacer un refuerzo del agujero de este tamaño, el eje menor de la elipse se coloca a lo largo del eje longitudinal de la caldera de modo que se requiere menos material de refuerzo para reemplazar en este eje direccional más débil.

Al considerar un plano de la sección recta de la chapa de la virola de caldera en las proximidades del corte del agujero de hombre es necesario hallar el área total del metal que se ha quitado., incluyendo orificios de remaches, y suministrando y poniendo un refuerzo o marco del hueco que tenga igual sección recta de corte en el mismo plano de la virola si el espesor de la virola no tiene exceso de espesor.

El Código de calderas de potencia ha detallado requisitos sobre corte de aberturas en violas o calderines y cómo calcular el refuerzo alrededor de la abertura o marco-bastidor del hueco si es necesario. Se aplica generalmente el siguiente procedimiento (véase la Figura de la página siguiente). El área requerida para ser restaurada por la abertura acotada d es:

$$A = d * t_r * F \dots\dots\dots \text{Fórm. 50}$$

Dónde:

d = diámetro de la abertura terminada en el plano, pulgadas o cm.

t_r = espesor necesario de la chapa sin costura para la presión.

F = factor que considera el eje del tubo o tubuladura que entra en la abertura, usualmente 1,00.

Para determinar si hay suficiente metal disponible de la virola, tubo o tubuladura, soldaduras o refuerzo, el Código proporciona las ecuaciones 9.5 y 9.6 (véase la

Figura 4.22 para el significado de los símbolos y los límites). Para determinar el material disponible o necesario de la virola:

$$A_1 = t_s - Ft_{rs} d \quad o$$

$$A_1 = 2(t_s - Ft_{rs})(t_s - t_r) \dots \dots \dots \text{Fórm. 51}$$

Se usa el valor mayor.

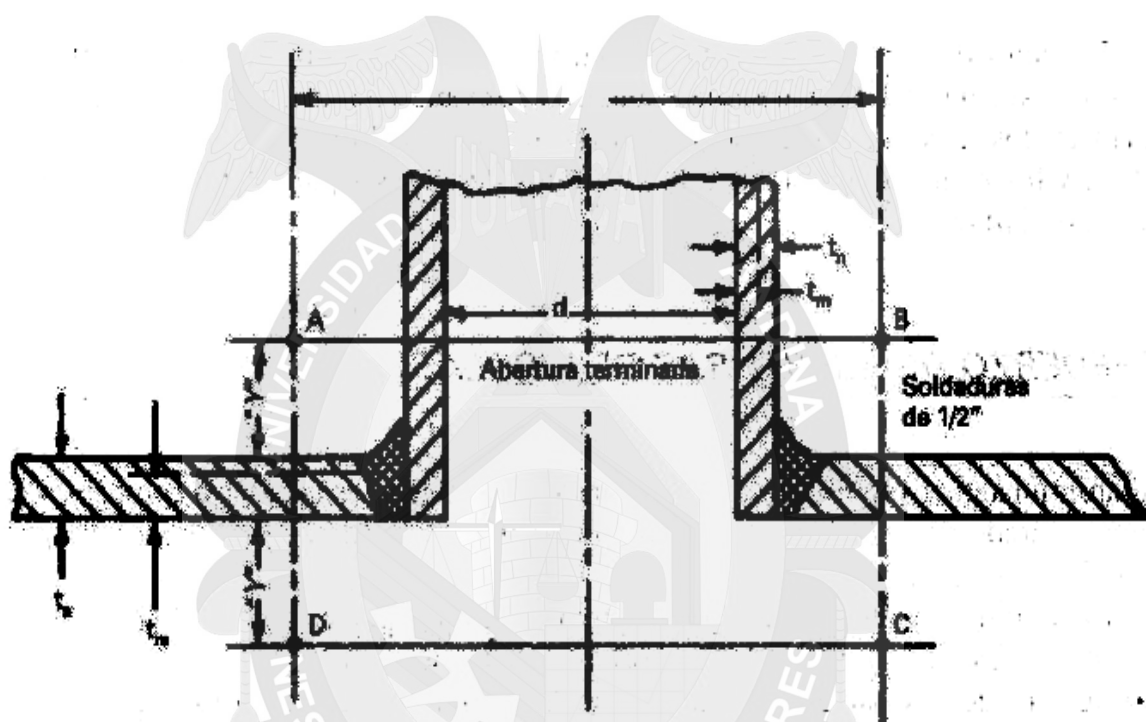


Figura 4.19. Los límites de refuerzo disponible en una conexión soldada de una tabuladura sobre una virola.
Fuente: Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas.

Para determinar el metal disponible o necesario del tubo o tubuladura insertado en la abertura:

$$A_2 = t_n - t_{rn} \quad 5t_s \quad o \quad A_2 = (t_n - t_{rn})(5t_n) \quad (9.6) \dots \dots \dots \text{Fórm. 52}$$

Se utiliza el valor más pequeño.

Ejemplo. Una tubuladura de 5" (127 mm) extra-pesada de acero SA-52 de grado S/A esta soldada en una virola similar a la mostrada en la Figura 4.22 con soldaduras de 1/2". La virola tiene un diámetro interior de 30" (762 mm), un espesor de 7/16" (11,11 mm) y una presión de trabajo de 200 psi (14 kg/cm²). Todas las soldaduras cumplen los requisitos normativos. Esto incluye la soldadura resistente. El tubo de 5" tiene un espesor de 0,375" (9,64 mm) con un diámetro exterior de 5,563". Usando los

cálculos de la Sección t para el refuerzo de la abertura, demostrar si el refuerzo cumple los requisitos del Código para una presión de trabajo de 200 psi (14 kg/cm²).

Solución. De la tabla de la Figura 3.9, la tensión admisible para el material de la virola es de 13.800 lb/in² (966 kg/cm²) y la tensión admisible para el material del tubo es de 12.000 lbs/in² (840 kg/cm²). Se usa la misma ecuación para determinar el espesor de la virola y del tubo utilizando la ecuación del cilindro sin costura, pero con él, el factor C omitido, o sea:

$$t = \frac{PR}{SE} - 1 - y \quad P \dots \dots \dots \text{Fórm. 53}$$

Dónde:

t = espesor requerido, pulgadas o cm.

P = presión admisible. Psi o kg/cm²

S = tensión admisible del material, Lbs/in² (o kg/cm²).

E = 1

y = 0,4

Para la virola:

$$t_{rs} = \frac{200(15)}{13.800(1) - (0,69200)} = 0.219" (5.57 \text{ mm})$$

Para el tubo:

$$t_{rn} = \frac{200(2.407)}{12.000(1) - 0,6(200)} = 0,04052" (1.029 \text{ mm})$$

El área de refuerzo requerido es:

$A = d * t_{rs} * F$: con $F = 1$, ya que el tubo está insertado normalmente en la virola.

$$d = 5.563 - 2 * 0.375 = 4.813"$$

$$A = 4.813(0.219)(1) = 1.054 \text{ in}^2$$

Áreas de refuerzo disponibles:

De la virola: $A_1 = (t_s - F * t_{rs}) d = 4.813 (7/16 - 1 * 0.219) = 1.052 \text{ in}^2$

Del tubo: $A_2 = (t_n - t_{rn}) 5 t = (0.375 - 0.040) * 5 * 0.375 = 0.628 \text{ in}^2$

De las soldaduras: $A_3 = 1/2 * 1/2 * 1/2 * 2 = 0.25 \text{ in}^2$:

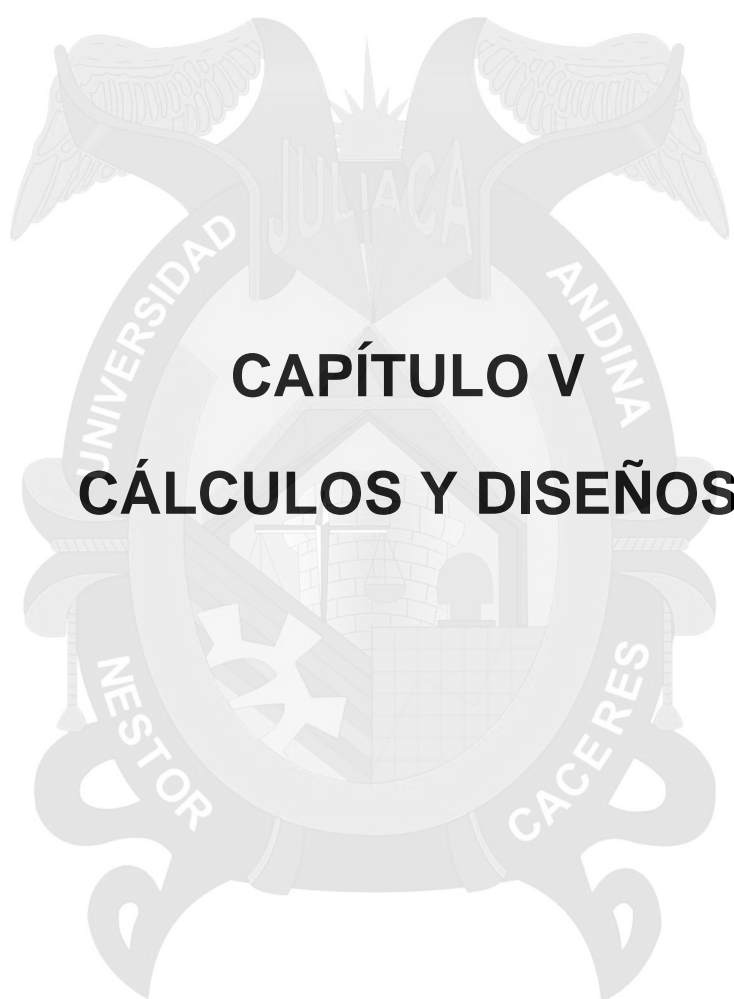
Área total del refuerzo $= \epsilon = 1.932 \text{ in}^2$ que exceden del valor del área de refuerzo exigible ($A = 1.054 \text{ m}^2$) aunque el área de refuerzo cumple los requisitos del Código.

IDENTIFICACIÓN DEL CÓDIGO DE CALDERAS

Los Estados y las autonomías exigen un sello o estampación identificatoria sobre las calderas de potencia. El Comité National Board de estampillado americano es suficiente para pasar y aprobar las normas y regulaciones de construcción en prácticamente todas las secciones de los EE. UU. Este sello consta de un símbolo ASME encima del número de serie del fabricante, el nombre del fabricante o abreviatura aprobada, la máxima presión para la cual la caldera ha sido construida, la superficie de calefacción y producción máxima y el año de construcción.

USO DE LAS ECUACIONES NORMATIVAS

Los cálculos del Código revisados en este capítulo fueron diseñados para mostrar cómo se obtiene la presión admisible para los diferentes componentes o piezas de una caldera. Aquellos lectores que se estén preparando para los exámenes de operador o inspector deberían anotar y tener en cuenta el método de ataque requerido para resolver problemas de resistencia de componentes de caldera basándose en las formulas o ecuaciones del Código. Deben también darse cuenta que el método ilustrado no solo se aplica en las calderas de nueva construcción. Los operadores de calderas y los inspectores así como los reparadores deberían revisar las ecuaciones y requisitos del Código (en España, las UNE, en el Perú según estándares internacionales) cuando se enfrenten a problemas existentes en las instalaciones actuales. Utilizando las ecuaciones adecuadas para el componente o pieza que requiera revisión debe alcanzarse u obtenerse una decisión sobre las adecuadas reparaciones según el Código que restablezca la resistencia de la pieza, si es que se hubiese visto afectada.



CAPÍTULO V CÁLCULOS Y DISEÑOS

1.1 DISEÑO DEL EQUIPO:

Básicamente nuestro equipo en su parte de diseño consta de tres partes. La primera es el diseño del horno. En segundo lugar el diseño del intercambiador de calor y como tercera parte el diseño mecánico del equipo.

Se debe señalar que la metodología es analítica siguiendo las normas y estándares que determinan los fabricantes y manipulando los parámetros térmicos que varían con la altitud. El programa oficial de diseño que hemos utilizado es el AutoCAD en versión demo.

La capacidad de nuestro caldero es de 15BHP dato que será nuestro punto de partida para determinar el flujo de vapor. Y aplicando la fórmula de determinación de potencia de caldero.

$$\text{Potencia de caldero} = (m * 1\text{BHP}) \ 34.5 \text{ lb } h \dots\dots\dots \text{Fórm. 54}$$

$$\text{Potencia de caldera} = 15\text{BHP}$$

Aplicando la formula tenemos:

$$\text{Potencia de caldero} = (m * 1\text{BHP}) \ 34.5 \text{ lb } h$$

$$15\text{BHP} = (m * 1\text{BHP}) \ 34.5 \text{ lb } h$$

$$\frac{34.5 \text{ lb } h * 15\text{BHP}}{1\text{BHP}} = Qt \dots\dots\dots \text{Fórm. 55}$$

$$m = 517.5 \text{ lb } h$$

Resolviendo la ecuación nuestro flujo de vapor es 517.5lb/h

1.1.1 ELEMENTOS DE LA COMBUSTION

1.1.1.1 **CALCULO DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE.-** Considerando que la temperatura a la cual ingresa el agua T es de 130°F. El calor que se necesita transferir al agua será:

Observando la Fig. 1 del anexo, notamos que la línea del gráfico es el lugar donde el agua empieza a evaporarse. Hasta ese punto es calor sensible, luego pasa a la zona de calor latente ya que no aumenta la temperatura del agua hasta que esta se haga completamente vapor.

$$m = 517.5 \text{ lb } h$$

$$T_1 = 130^\circ F \quad T_s = T_2 = 358^\circ F$$

$$C_p = 1 \text{ BTU}/(\text{lb}^\circ F)$$

$$h_{fg} = 863.4 \text{ BTU } \text{lb}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 228^\circ F$$

Observando la figura hay dos tipos de calores considerados en este proceso:

$$Q_l = Q_{fg} = \text{calor latente} \dots \dots \dots \text{Fórm. 54}$$

$$Q_s = Q_{tf} = \text{calor sensible} \dots \dots \dots \text{Fórm. 55}$$

$$Q_s = m * C_p * \Delta T \dots \dots \dots \text{Fórm. 56}$$

$$Q_s = 517.5 \text{ lb } h * 1 \text{ BTU}/(\text{lb}^\circ F) * 228^\circ F$$

$$Q_s = \frac{117990 \text{ BTU}}{h} \dots \dots \dots \text{Fórm. 57}$$

$$Q_l = m * h_{fg} \dots \dots \dots \text{Fórm. 58}$$

$$Q_l = 517.5 \text{ lb } h * 863.4 \text{ BTU } \text{lb}$$

$$Q_l = \frac{446809.5 \text{ BTU}}{h}$$

$$Q_t = Q_l + Q_s \dots \dots \dots \text{Fórm. 59}$$

$$Q_t = \frac{446809.5 \text{ BTU}}{h} + \frac{117990 \text{ BTU}}{h}$$

$$Q_t = 564799 \text{ BTU } h$$

Diesel 2 genera = 143000 BTU/gal

GHP = galones por hora = $Q_t / 143000$

$$GHP = \frac{Q_t}{143000} = \frac{564799 \text{ BTU } h}{143000 \text{ BTU}} = 3.9496$$

Consideraremos adicionalmente ineficiencias en la combustión que se dan en este tipo de calderos según los fabricantes de calderas por lo que adicionaremos un 10% para la generación por lo que tendríamos:

$$\text{GPH} = 4.345$$

1.1.1.2 **CALCULO DEL FLUJO DE AIRE NECESARIO.**- La cantidad de aire requerido depende directamente de la cantidad de combustible. Para esto empezaremos analizando la composición del combustible. Composición del diesel 2:

Elemento	% en peso
C	86.8
H	12.52
N	0.053
S	0.27

Tabla 5.1. Composición del diesel 2.

Fuente: Elaboración propia Microsoft Excel.

%O₂ en volumen en el aire: 20.99

%O₂ en peso en el aire: 23.20

Ahora tomaremos como base 100lb de combustible para poder determinar cuántas moles se requieren:

Elemento	Moles % en peso	Moles O ₂ Requeridas
C	86.8/12 7.23	7.2300
H ₂	12.52/2 6.26	3.1300
N ₂	0.053/28 0.0019	0.0019
S	0.27/32 0.0084	0.0084
Total		10.3703

Tabla 5.2. Cantidad de oxígeno que se necesita por cada 100lb.

Fuente: Elaboración propia Microsoft Excel.

1.1.1.3 VARIACION DE LA CALIDAD DEL AIRE CON LA ALTURA.-

A diferentes alturas respecto al nivel del mar, resultará necesario considerar las variaciones de presión y temperatura que experimenta el aire y como influyen sus características como comburente.

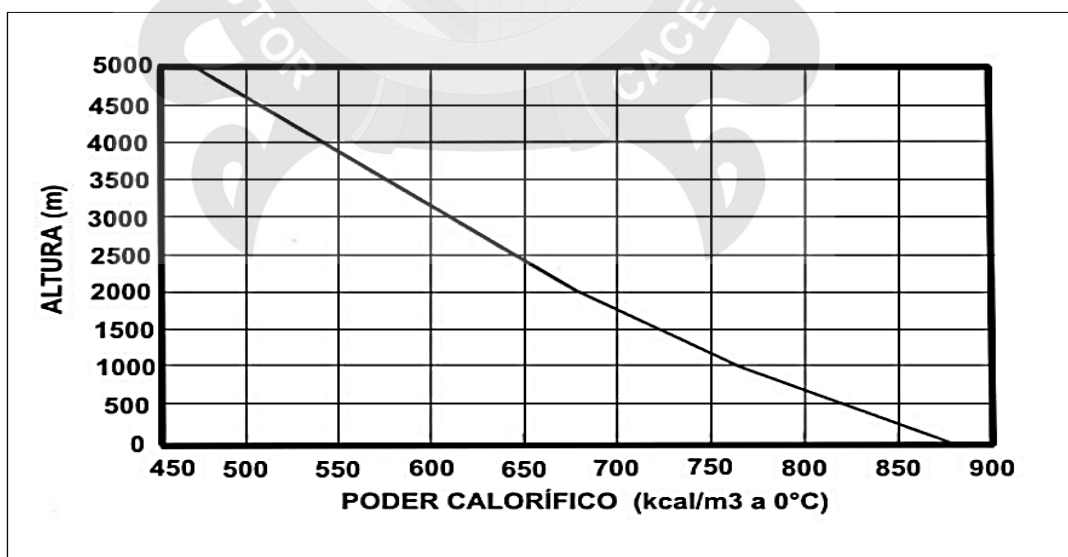
Un metro cúbico de aire normal (1 atm y 0°C) aporta como comburente 297 gramos de oxígeno; a la misma temperatura, en la medida que se incremente la altura, y consecuentemente la presión, disminuirán sus contenidos de masa de oxígeno en la siguiente forma:

A 0 m.s.n.m.	1m ³ -----> 297 gr de O ₂
A 1000 m.s.n.m.	1m ³ -----> 241 gr de O ₂
A 2000 m.s.n.m.	1m ³ -----> 227 gr de O ₂
A 3000 m.s.n.m.	1m ³ -----> 192 gr de O ₂
A 4000 m.s.n.m.	1m ³ -----> 170 gr de O ₂
A 5000 m.s.n.m.	1m ³ -----> 141 gr de O ₂

Tabla 5.3. [Se muestra la corrección del volumen del aire con la altura a diferentes temperaturas.]

Fuente: Manual Práctico de Combustión Industrial Ing. Percy Castillo Neira Pag.71.

A nivel del mar, el poder calorífico del aire siempre será de 890 Kcal/m³N; al realizarse la combustión a más altura, este valor disminuirá progresivamente, por disminuir gradualmente el contenido de oxígeno por metro cúbico, lo que puede apreciarse en la Figura siguiente:



En la Figura 5.1. [Variación del poder calorífico del aire con la altura.]

Fuente: Manual Práctico de Combustión Industrial Ing. Percy Castillo Neira Pag.71.

1.1.2 ESTUDIO DEL AREA DE CALEFACCION

Esta área tiene parámetros diferentes a los que tiene si el combustible sólido, este valor es una función de la potencia del caldero, y se encuentra en muchas fórmulas dadas por las casas constructoras , la ecuación que se recomienda es:

$$\text{Area de calefaccion} = 1.465 * BHP - 0.004$$

$$\text{Area de calefaccion} = 1.465 * 15BHP - 0.004$$

$$\text{Area de calefaccion} = 6.971m^2$$

Si optamos por una caldera de tres pasos los datos de transferencia de calor típicos para una caldera económica de tres circuitos podemos observar según experiencias de fabricante SpirxSarco.

PASOS	Proporción total de transferencia de calor:
1er paso	65%
2do paso	25%
3er paso	10%

Tabla 5.4. Transferencia de calor en una caldera de tres pasos.

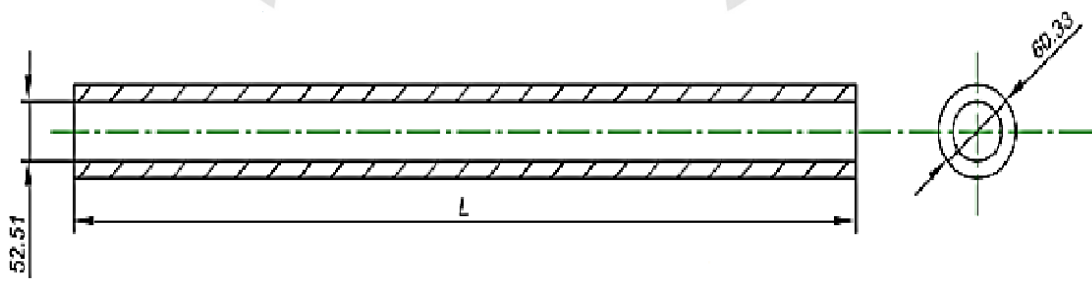
Fuente: Manual Práctico de SpiraxSarco pag.11

1.1.3 DIAMETRO DE LOS TUBOS

DIÁMETRO.

Para potencias relativamente bajas las casas constructoras recomiendan tubos sin costuras con las siguientes características:

Esquema del tubo



En la Figura 5.2.imagen de tubo de caldera

Fuente: Elaboración propia AutoCAD

La fórmula de cálculo está basada en formas experimentales:

$$L = 0.048 * \text{Potencia del Caldero} + 0.3 \dots \dots \dots \text{Fórm. 60}$$

$$L = 0.048 * 15\text{BHP} + 0.3$$

$$L = 1.02\text{m}$$

Área de cada tubo:

$$A = \pi * D * L \dots \dots \dots \text{Fórm. 61}$$

$$A = \pi * 0.063\text{m} * 1.02\text{m}$$

$$A = 0.1932\text{m}^2$$

ESTUDIO DEL NUMERO DE TUBOS

$$\# \text{ de tubos} = \frac{\text{Area de calefaccion}}{\text{Area externa de los tubos}} \dots \dots \dots \text{Fórm. 62}$$

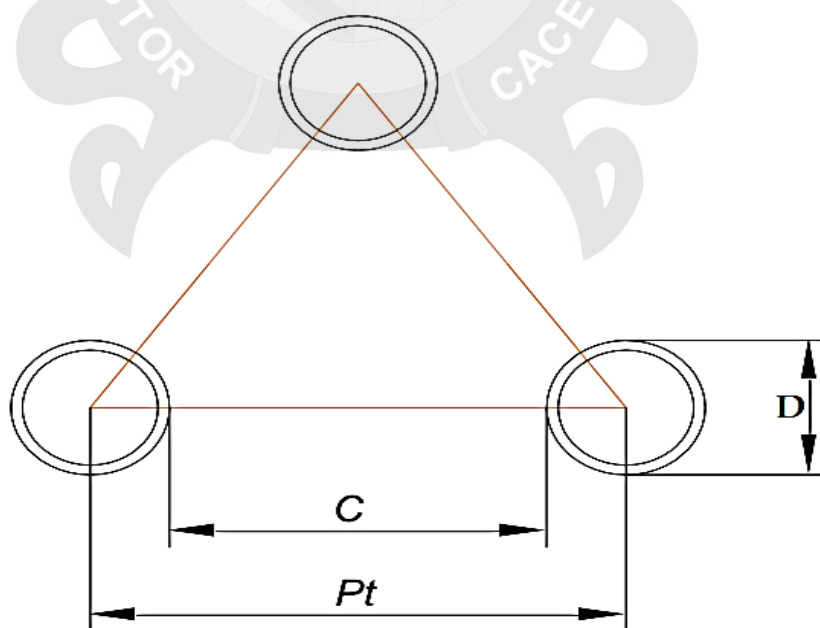
$$\# \text{ de tubos} = \frac{6.971\text{m}^2}{0.1932\text{m}^2}$$

$$\# \text{ de tubos} = 36.082$$

$$\# \text{ de tubos} = 36$$

DISTRIBUCION DE LOS TUBOS:

Para la distribución de los tubos en los espejos deben tener una distribución de triángulo equilátero; con este tipo de distribución logramos obtener mayores eficiencias al momento que se esté produciendo la transferencia de calor.



En la Figura 5.3.imagen de distribución de tubos en la caldera
Fuente: Elaboración propia AutoCAD

Para el diseño del caldero a las casas constructoras recomiendan una distancia entre centros tubos de 1.25 a 1.75 del diámetro de los mismos.

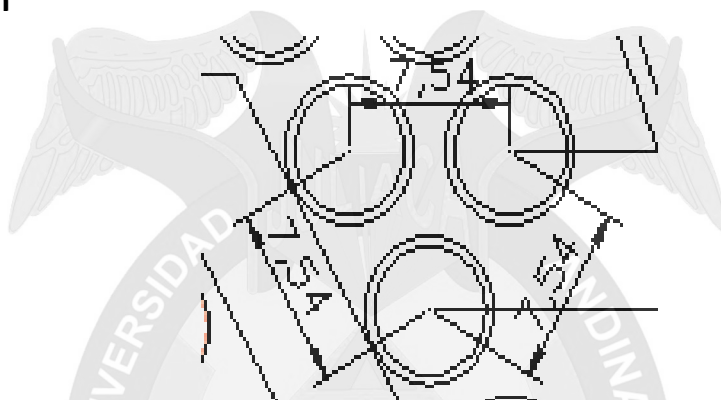
$$Pt = 1.25 * D \dots \dots \dots \text{Fórm. 63}$$

$$Pt = 1.25 * 60.33$$

$$Pt = 75.41mm$$

Por lo tanto:

$$Pt = 75mm$$

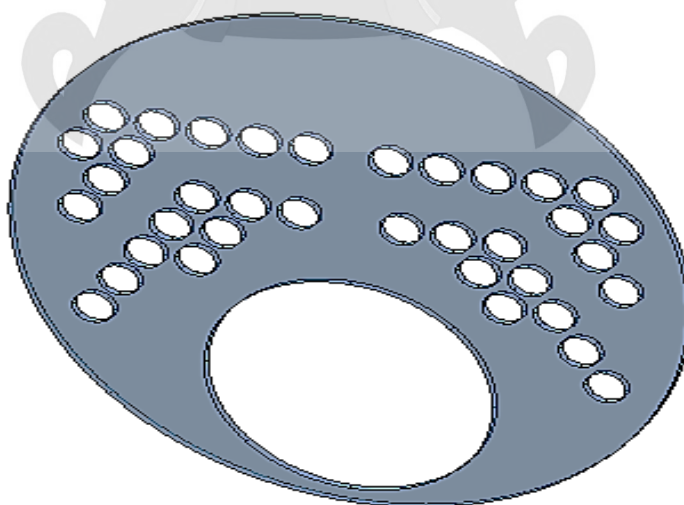


En la Figura 5.4. imagen de distribución de tubos en la caldera
Fuente: Elaboración propia AutoCAD

DIAMETRO DEL ESPEJO

Las casas comerciales que construyen calderos recomiendan Diámetros del espejo de 1.06 m. para calderos con una potencia de hasta 100BHP , el espesor es un criterio particular, pudiendo ser un mínimo de 10 mm de espesor.

Para nuestro diseño en particular optaremos por 1m.



En la Figura 5.5. Imagen de espejo de caldera
Fuente: Elaboración propia AutoCAD 3d

CALCULO DEL HOGAR:

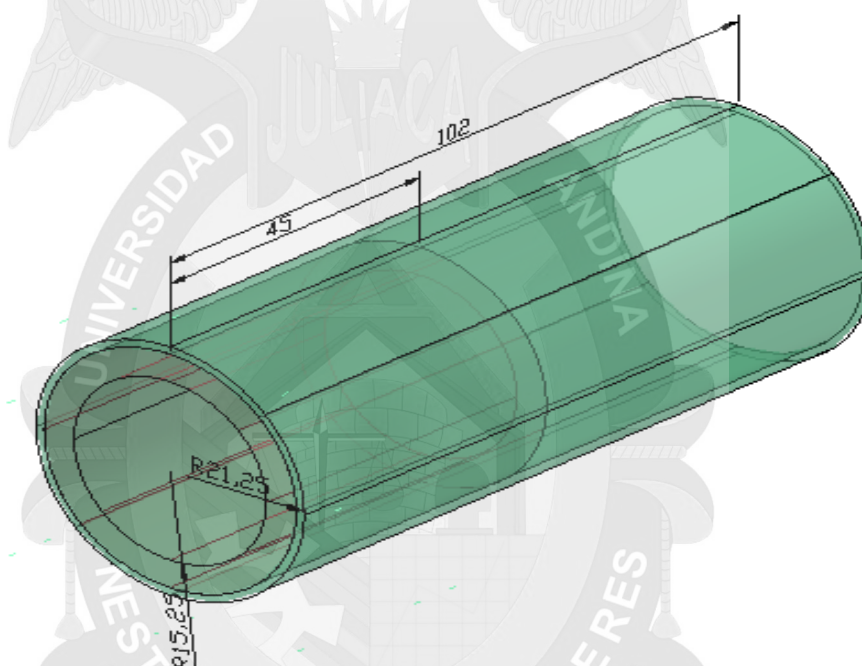
Para que haya transferencia de calor debe haber una fuente de calor y un receptor. Todo esto debe estar contenido en una superficie para poder materializar la transferencia.

El hogar es un tubo cuyo diámetro debe estar entre un 40% y 45% del diámetro del espejo.

$$\varnothing \text{ hogar} = 42.5\% * \text{diametro espejo} \dots \dots \dots \text{Fórm. 64}$$

$$\varnothing \text{ hogar} = 0.425 * 1\text{m}$$

$$\varnothing \text{ hogar} = 0.425\text{m}$$



En la Figura 5.6. Imagen de hogar de caldera
Fuente: Elaboración propia AutoCAD 3d

AREA DE ACUMULACION DE VAPOR

Esta área se encuentra en la parte superior del espejo, se denomina como área de acumulación de vapor; esta altura entre el agua y el domo es de un 20% del diámetro del espejo.

$$\text{altura} = 20\% * \text{diametro espejo} \dots \dots \dots \text{Fórm. 65}$$

$$\text{altura} = 0.20 * 1\text{m}$$

$$\text{altura} = 0.20\text{m}$$

1.1.4 CALCULO DE RENDIMIENTOS DE LAS CALDERAS E INSTALACIONES. PREVENCIÓN CONTRA LAS CONDENSACIONES Y CORROSIÓN DEL AGUA

1.1.4.1 Rendimiento útil (η_u)

El calor producido al quemarse un combustible en una caldera no se transmite íntegramente al agua de calefacción, se producen unas pérdidas que serán de mayor o menor magnitud dependiendo del diseño de la caldera y de la regulación de la combustión.

El rendimiento útil de una caldera será:

$$\eta_u = \frac{P_u}{P_c} * 100 \text{ en } \% \dots\dots\dots \text{Fórm. 67}$$

Siendo:

P_u = Potencia útil de la caldera.

P_c = Potencia calorífica obtenida al quemar un combustible.

1.1.4.1.1 Potencia útil (P_u)

La potencia útil de una caldera depende del caudal de agua (Q) que circula a través de ella y del salto térmico del agua que existe a la entrada (T_e) y salida (T_s) de la caldera.

$$P_u = Q \cdot (T_s - T_e) \cdot C_e \cdot P_e \dots\dots\dots \text{Fórm. 68}$$

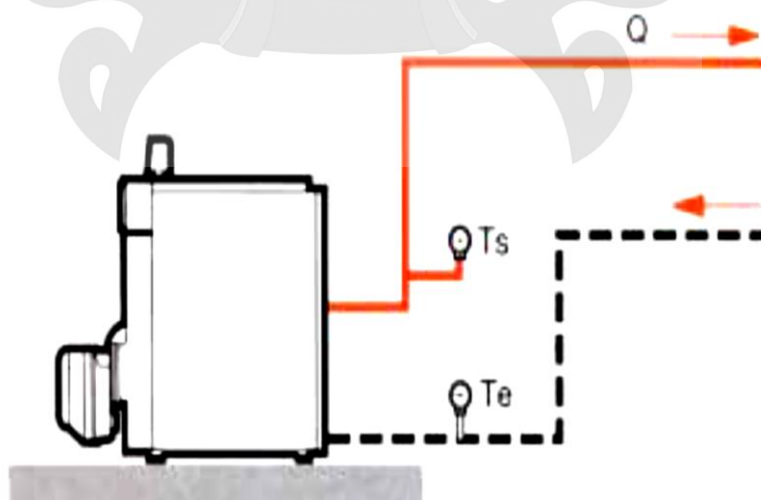


Figura 5.7. Calor perdido por radiación, convección y con los gases de escape en forma muy acelerada y en dependencia del tipo de combustible que se está usando en la caldera.
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

Para el agua:

$$Pu = Q (Ts - Te) \dots \dots \dots \text{Fórm. 69}$$

En donde:

Pu = Potencia útil en kcal/h.

Q = Caudal en l/h.

Ts = Temperatura del agua a la salida en °C

Te = Temperatura del agua a la entrada en °C

Ce = Calor específico en kcal / h. kg. °C = 1 para agua.

Pe = Peso específico en kg / dm³ = 1 para el agua.

La mayoría de fabricantes de calderas, en sus informaciones técnicas, indican las potencias útiles.

1.1.4.1.2 Potencia quemada (Pc)

La potencia obtenida al quemar un combustible depende del Poder Calorífico Inferior, siendo éste el calor que desprende al quemarse una unidad de peso o volumen y de la cantidad de combustible utilizado en una hora.

$$Pc = PCI \cdot C \dots \dots \dots \text{Fórm. 70}$$

En donde:

Pc = Potencia quemada en kcal/h.

C = Consumo combustible en kg/h ó Nm³/h.

PCI = Poder Calorífico Inferior del combustible:

Gasóleo = 10.200 kcal/kg

Fuelóleo = 9.700 kcal/kg

Antracita = 7.000 kcal/kg

Gas Ciudad = 3.800 kcal/Nm³

Gas Natural = 9.300 kcal/Nm³

Propano = 22.000 kcal/Nm³

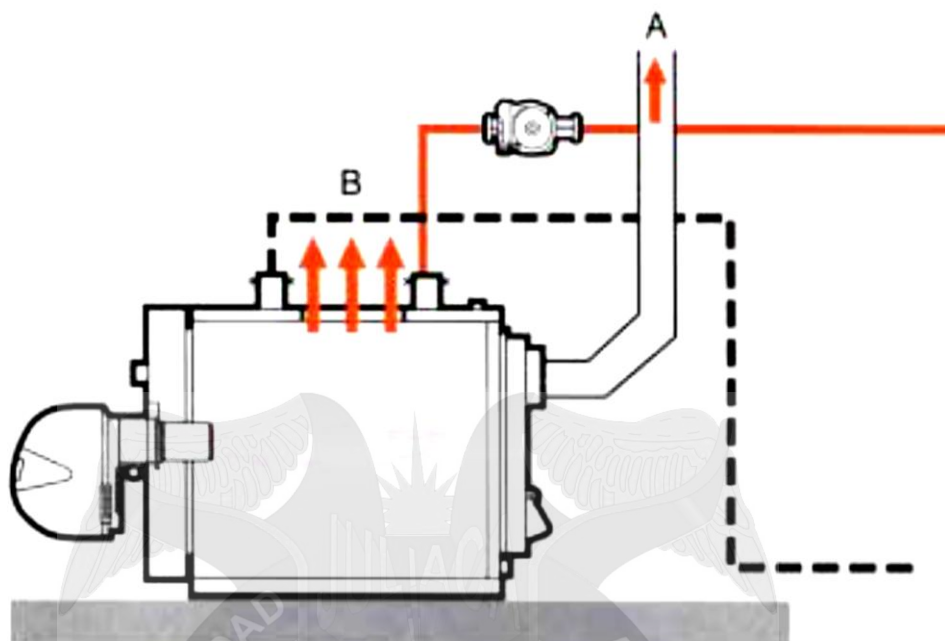


Figura 5.8. Calor perdido por radiación, convección y con los gases de escape en forma muy acelerada y en dependencia del tipo de combustible que se está usando en la caldera.
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

A esta potencia (P_c), también suele denominarse potencia nominal de la caldera.

1.1.4.2 Pérdidas de calor

Las pérdidas de calor que se generan en el funcionamiento de una caldera son:

A = Pérdidas en chimeneas.

B = Pérdidas por radiación, convección y contacto de la caldera con su retorno.

1.1.4.2.1 Pérdidas en chimenea

Las pérdidas que se generan en la combustión y que salen a través de la chimenea son dos:

q_{hs} = Pérdidas calor sensible.

q_i = Pérdidas calor inquemados.

a) Pérdidas de calor sensible (QHS)

Las pérdidas por el calor sensible en los productos de la combustión son las más importantes. Depende esencialmente del porcentaje de CO_2 y de la temperatura de humos en la chimenea.

A su vez, el porcentaje de CO₂ depende del tipo de combustible utilizado y del exceso de aire utilizado en la combustión. Para determinar las pérdidas del calor sensible (q_{hs}) aplicaremos la fórmula siguiente:

$$q_{hs} = \frac{V_c * C_c}{PCI} (t_b - t_a) * 100 \text{ en } \% \dots \dots \dots \text{Fórm. 71}$$

En donde:

V_c = Volumen gases combustión en Nm³/kg.

C_c = Calor específico gases combustión (0,33 ÷ 0,35 kcal / Nm³°C).

PCI = Poder Calorífico Inferior del combustible.

t_h = Temperatura de humos en chimenea en °C.

t_a = Temperatura ambiente en °C.

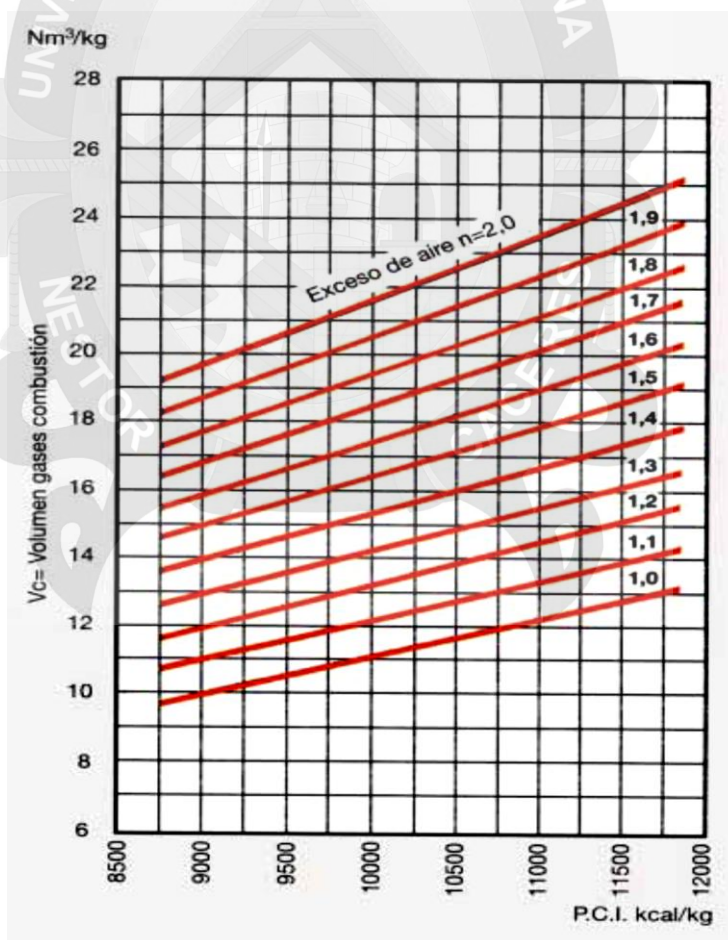


Figura 5.9. [Volumen gases de combustión (V_c) en función del exceso de aire (n) para combustibles líquidos].

Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

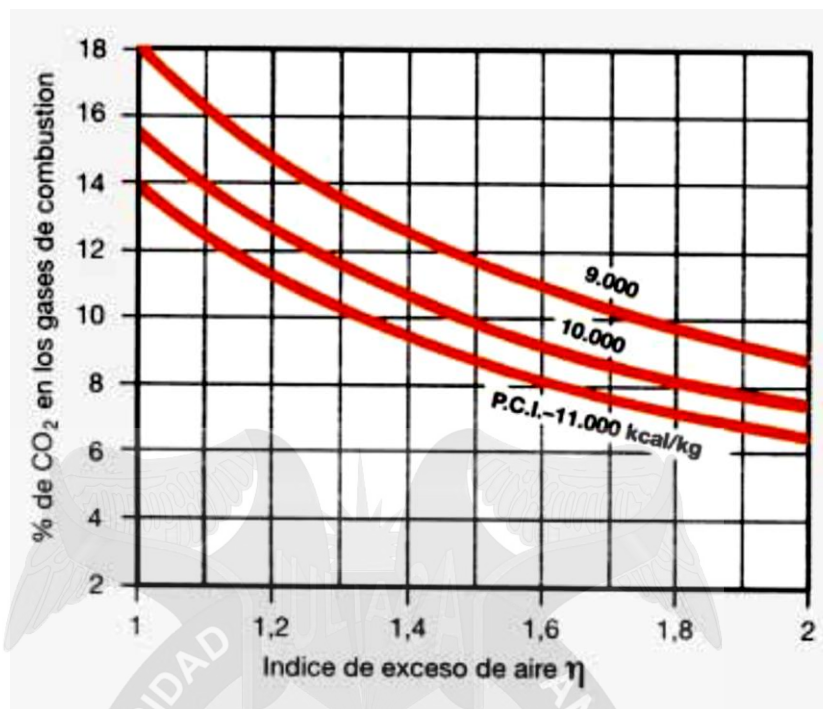


Figura 5.10. [Índice de exceso de aire (η) en función del porcentaje de CO_2 para combustibles líquidos].

Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

Para combustibles líquidos (gasóleo y fuelóleo) la determinación del volumen de gases combustión (V_c) se puede obtener a través de la figura 5.9. Previamente es necesario conocer el exceso de aire, para ello, también gráficamente lo podemos conocer con la ayuda de la figura 5.10.

Para determinar las pérdidas del calor sensible (q_{hs}) también podemos utilizar la fórmula de Siegert, aproximadamente los resultados son similares.

$$q_{hs} = K * \frac{tb - ta}{CO_2} \dots \dots \dots \text{Fórm. 72}$$

En donde:

th = Temperatura de humos en $^{\circ}C$.

ta = Temperatura ambiente de la sala en $^{\circ}C$.

CO_2 = Contenido de CO_2 en %.

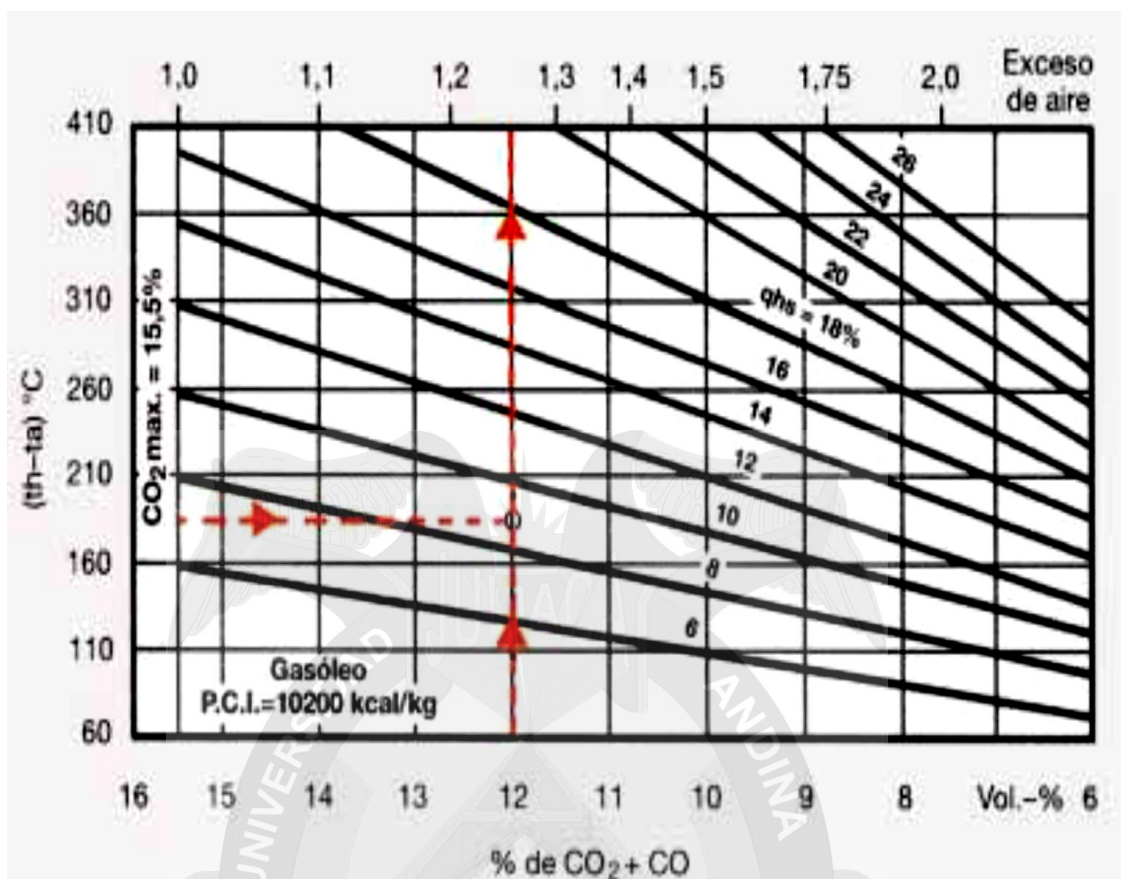


Figura 5.11. Determinación pérdidas de calor sensible (q_{hs})
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

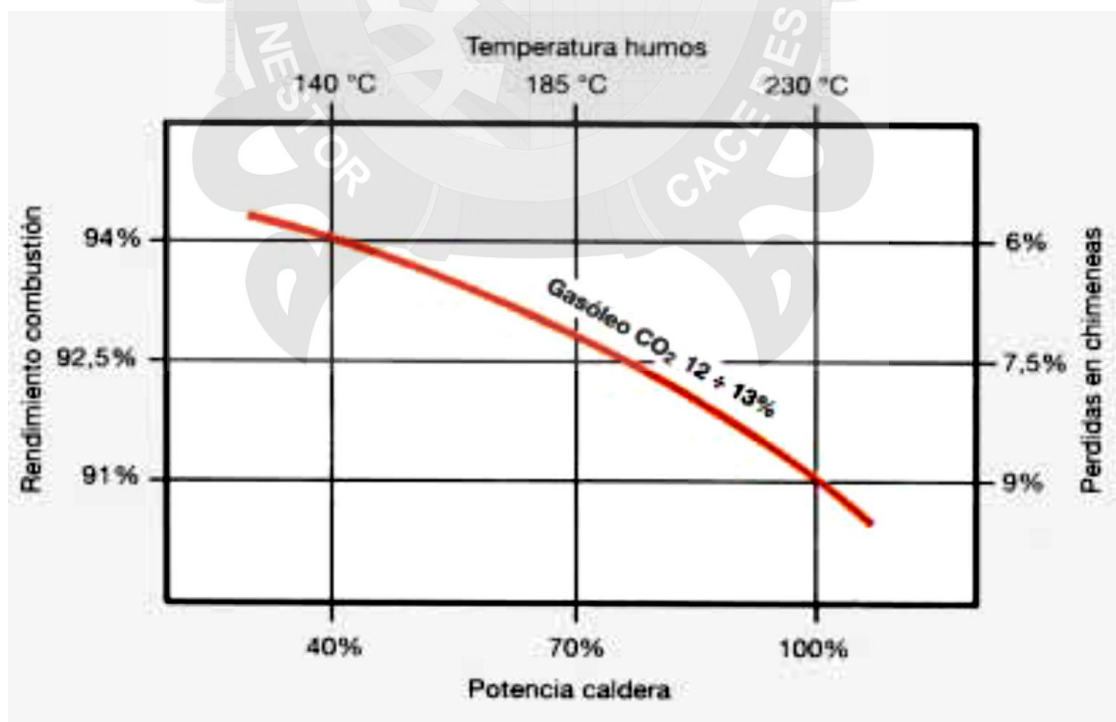


Figura 5.12. Potencia de la caldera en función a la cantidad de
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

$K = 0,495 + (0,00693 \cdot CO_2)$ para gasóleo.

$K = 0,516 + (0,0067 \cdot CO_2)$ para fuelóleo.

$K = 0,379 + (0,0097 \cdot CO_2)$ para gas natural, propano y butano.

$K = 0,68$ para hulla y antracita.

$K = 0,57$ para cok; $K = 0,50$ para gas ciudad.

Para el gasóleo, gráficamente y de modo aproximado directamente podemos determinar las pérdidas de calor sensible (q_{hs}). (Figura 5.11).

Ejemplo: el análisis de combustión de una caldera funcionando con gasóleo de PCI 10.200 kcal/kg es el siguiente:

- 12% de CO_2
- Temperatura de humos $t_h = 200^\circ C$
- Temperatura ambiente $t_a = 20^\circ C$.

Determinar el calor sensible (q_{hs}) perdido por los gases de combustión.

Primeramente determinaremos el exceso de aire en la combustión a través de la Figura 5.10.

$$\eta = 1,25$$

Seguidamente aplicaremos la Figura 5.9 para hallar el volumen de gases de combustión, que para un exceso de aire de $n = 1,25$ le corresponde.

$$V_c = 14 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

A continuación aplicaremos la fórmula y sustituiremos los valores.

$$q_{bs} = \frac{V_c \cdot C_c}{PCI} t_b - t_a \cdot 100 \text{ en } \% \dots \dots \dots \text{Fórm. 73}$$

$$= \frac{14 \cdot 0,35}{10.200} 200 - 20 \cdot 100 = 8,65\%$$

Aplicando la fórmula de Siegert.

$$q_{bs} = K \frac{t_b \cdot t_a}{CO_2} = 0,578$$

$$\frac{200 - 20}{12} = 8.67\%$$

$$K = 0.495 + 0.00693 * 12 = 0.578$$

Si aplicamos directamente la Figura 5.11 vemos que el resultado es similar a los hallados numéricamente.

b) Pérdidas de calor por inquemados

Las pérdidas de calor por inquemados (q_i) son las debidas principalmente por el carbono que no se ha quemado y que en combinación con el oxígeno forma CO. Para su determinación podemos aplicar la fórmula siguiente:

$$q_i = K_1 \frac{V_c * 3.020 * CO}{PCI} \text{ en } \% \dots \dots \dots \text{ Fórm. 74}$$

En donde:

V_c = Volumen gases de combustión en Nm^3/kg o $\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3$ (para gasóleo y fuelóleo ver Figura 5.5)

3020 = Poder calorífico inferior del CO en kcal/Nm^3

CO = % de contenido en los gases de combustión.

PCI K_1

Gasóleo 10.200 kcal/kg 1,9

Fuelóleo 9.700 kcal/kg 1,8

También se puede utilizar:

$$q_i = K_2 \frac{CO}{CO + CO_2} \text{ en } \% \dots \dots \dots \text{ Fórm. 75}$$

En donde:

K_2 = 95 para gasóleo y fuelóleo

= 60 para carbón

= 35 para gas ciudad

= 72 para gas natural

= 84 para propano

El actual Reglamento indica que el CO máximo permitido es del 0,1%. Para este porcentaje las pérdidas por inquemados suelen oscilar entre el 0,4 y el 0,8%. Para un 1% de contenido de CO, las pérdidas ya son importantes, se sitúan alrededor de un 4 a un 7%.

1.1.4.3 El rendimiento de combustión (η_c)

El rendimiento de combustión (η_c) es el obtenido después de deducir las pérdidas del calor sensible (q_{hs}) y las de inquemados (q_i).

$$(\eta_c) = 100 - (q_{hs} + q_i) \dots \dots \dots \text{Fórm. 76}$$

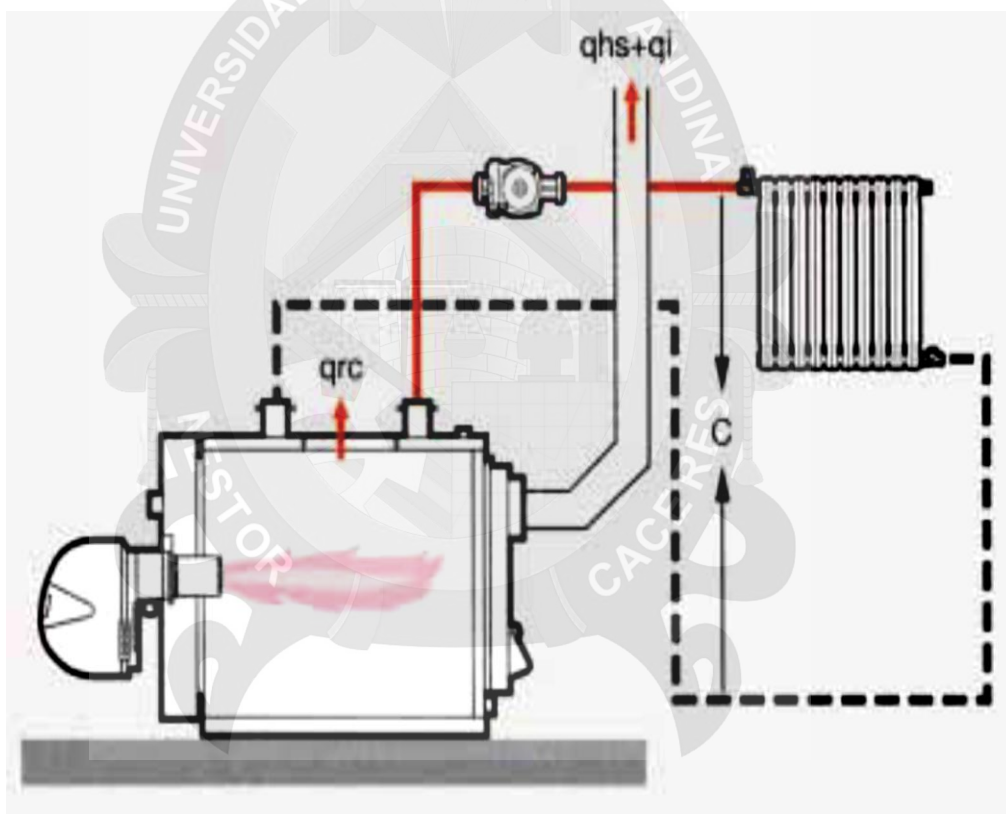


Figura 5.13. El rendimiento de combustión.
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

Con una buena regulación de la combustión, como sería por ejemplo un CO₂ del 12 al 13% en gasóleo, los rendimientos de combustión aumentan haciendo funcionar la caldera a potencias inferiores a la útil (Figura 5.12).

1.1.4.3.1 Pérdidas por radiación y convección

Las pérdidas por radiación y convección son las que genera la caldera con su entorno (q_{rc}), podríamos llamarlas pérdidas residuales.

$$q_{hs} + q_i + q_{rc} = 100 - \eta_u \dots \dots \dots \text{Fórm. 77}$$

Como

$$q_{hs} + q_i = 100 - \eta_c \text{ tenemos:}$$

$$100 - \eta_c + q_{rc} = 100 - \eta_u$$

$$q_{rc} = 100 - \eta_u - 100 + \eta_c$$

$$q_{rc} = \eta_c - \eta_u \dots \dots \dots \text{Fórm. 78}$$

De aquí viene la denominación de pérdidas residuales. Dependen del tamaño de las calderas y de su aislamiento.

Aproximadamente, pueden calcularse aplicando la fórmula siguiente:

$$q_{rc} = \frac{\alpha * S * \Delta t}{P_c} \dots \dots \dots \text{Fórm. 79}$$

En donde:

α = coeficiente de transmisión de calor $10 \div 12 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$.

S = superficie exterior del contorno de la caldera en cm^2 .

Δt = diferencia de temperatura superficial media de la superficie exterior de la caldera y de la temperatura ambiente de la sala caldera en $^\circ\text{C}$.

P_c = potencia quemada por el combustible en kcal/h .

Para efectuar un cálculo más exacto, podemos desglosar la superficie exterior de la caldera en tres partes, el frontal, la trasera y el resto de la superficie y calcular las pérdidas de calor de cada una de ellas.

Frontal:

$$q_{rc1} = \frac{\alpha_1 * S_1 * \Delta t_1}{P_c} = \frac{12 S_1 * \Delta t_1}{P_c} \dots \dots \dots \text{Fórm. 80}$$

Trasera:

$$qrc_2 = \frac{\alpha_2 * S_2 * \Delta t_2}{Pc} = \frac{12S_2 * \Delta t_2}{Pc} \dots \dots \dots \text{Fórm. 81}$$

Resto caldera:

$$qrc_3 = \frac{\alpha_3 * S_3 * \Delta t_3}{Pc} = \frac{12S_3 * \Delta t_3}{Pc} \dots \dots \dots \text{Fórm. 82}$$

Por tanto tendremos:

$$qrc = qrc_1 + qrc_2 + qrc_3 \dots \dots \dots \text{Fórm. 83}$$

1.1.4.4 Rendimiento útil de la caldera (η_u)

El rendimiento útil de una caldera será por tanto, lo que nos queda después de deducir todas las pérdidas que se generan en ella cuando está en funcionamiento:

$$\eta_u = 100 - qbs + qi + qrc = \eta_u - qrc \dots \dots \dots \text{Fórm. 84}$$

1.1.4.4.1 Rendimiento de la instalación

Hay que distinguir claramente lo que es el rendimiento útil de una caldera y el de la instalación.

Anteriormente se ha desarrollado el rendimiento de la caldera que depende del rendimiento de la combustión y de las pérdidas de la propia caldera con su entorno cuando está en funcionamiento. Sin embargo existen otras pérdidas que se dan durante el servicio de la caldera, siendo estas:

Con caldera en funcionamiento:

- ✓ Pérdidas en tuberías (C).

Con caldera parada por termostato:

- ✓ Pérdidas en tuberías (C_1).
- ✓ Pérdidas de la caldera con su entorno (A_1).
- ✓ Pérdidas por enfriamiento de la caldera al circular aire a través del circuito de humos (B_1).

Debemos entender como pérdidas en tuberías, las pérdidas de calor de las tuberías distribuidas por locales no calefaccionados tales como, sala caldera, parking, etc. Las que circulan por locales calefaccionados, no son pérdidas, ya que indirectamente se aprovechan para calefaccionar el local, actuando como un emisor (Figura 5.13).

1.1.4.4.2 Pérdidas con caldera en funcionamiento

El rendimiento "puntual" de la instalación (η_i) estando la caldera en funcionamiento será:

$$\eta_i = \eta_u - q_t \dots \dots \dots \text{Fórm. 85}$$

$$q_t = \frac{C}{P_u} * 100 \dots \dots \dots \text{Fórm. 86}$$

η_u = rendimiento útil de la caldera.

q_t = % de pérdida en tuberías.

C = pérdidas en tuberías en kcal/h.

P_u = potencia útil de la caldera en kcal/h.

Las pérdidas en tuberías dependerán de sus dimensiones, longitud y si están o no aisladas térmicamente.

1.1.4.4.3 Pérdidas con caldera por el termostato

Si la caldera se ha parado por el termostato, ésta y las tuberías continúan perdiendo calor (C_1) y paulatinamente irá descendiendo la temperatura del agua que contienen (Figura 5.14).

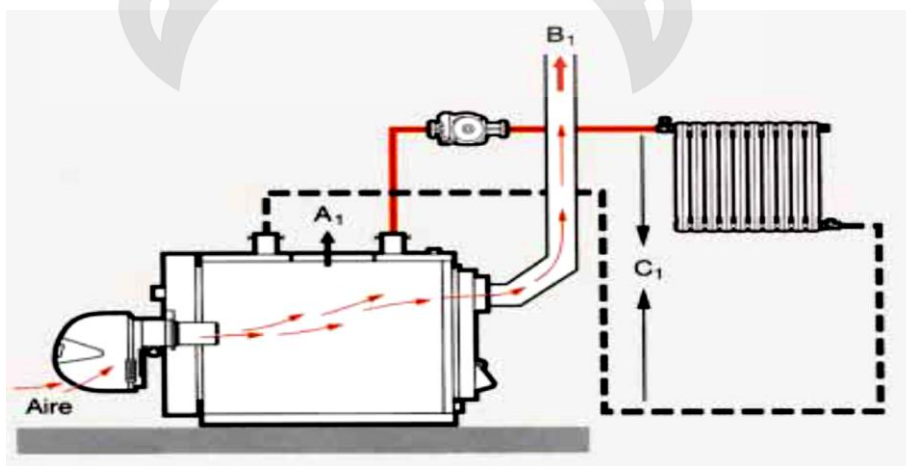


Figura 5.14. Pérdidas de calor por apagado del termostato
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

En la caldera se originan dos tipos de pérdidas, la de radiación y convección con su entorno (A_1) y la de enfriamiento del circuito de humos por la circulación de aire a través de él (B_1). Esta última, puede reducirse considerablemente utilizando quemadores que al dejar de funcionar automáticamente, cierran el registro del aire que incorporan; de no disponer en el quemador de este automatismo se puede intercalar en el tramo de conexión de la caldera con la chimenea de un registro con servomotor que trabajará en serie con el quemador (Figura 5.15).

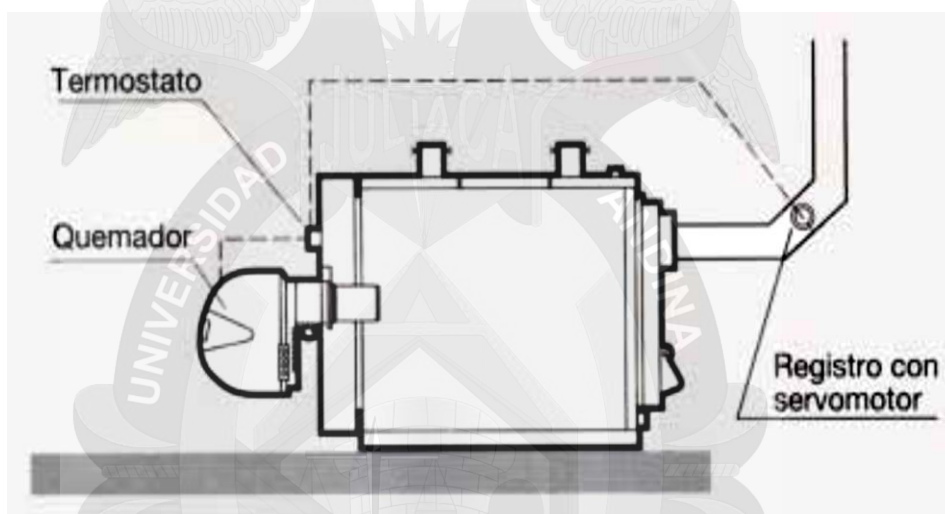


Figura 5.15. Ubicación de registro con servomotor
<http://webcache.googleusercontent.com>

Por tanto, en la instalación cuando la caldera ha parado por termostato, se producirán siempre unas pérdidas de calor, su cuantía dependerá en mayor o menor grado del aislamiento de las tuberías y del tiempo en que permanece parada la caldera (h_2).

$$\text{Pérdidas} = P_p = (A_1 + B_1 + C_1) \cdot h_2 = \text{per} \cdot h_2 \dots \dots \dots \text{Fórm. 87}$$

Estas pérdidas pueden hacer bajar ostensiblemente el rendimiento de la instalación. Para el cálculo económico de explotación de una instalación, se utilizará el rendimiento "estacional" que abarca un periodo de tiempo más largo, como podría ser el invernal o el de verano.

Seguidamente desarrollaremos las fórmulas que nos servirán para determinar el rendimiento estacional (η_e).

Potencia desarrollada por la caldera durante (h_1) de tiempo:

$$P = P_u \cdot h_1 \dots \dots \dots \text{Fórm. 88}$$

Consumo de combustible:

$$Q = \frac{P}{P_{ci} \cdot \eta_i} = \frac{P_u \cdot b_1}{P_{ci} \cdot \eta_i} \dots \dots \dots \text{Fórm. 89}$$

$$\eta_i = \frac{P_u \cdot b_1}{P_{ci} \cdot Q} \dots \dots \dots \text{Fórm. 90}$$

A continuación podemos observar los valores de tabla para la cantidad de calor que se pierde por metro lineal de tubería.

Pérdidas de la instalación con caldera parada por termostato durante (h_2) de tiempo:

$$P_p = per \cdot h_2 \dots \dots \dots \text{Fórm. 91}$$

Potencia neta aprovechada:

$$P_n = P - P_p = P_u \cdot h_1 - per \cdot h_2 \dots \dots \dots \text{Fórm. 92}$$

Rendimiento "estacional" de la instalación:

$$\eta_e = \frac{P_n}{P_{CI} \cdot Q} = \frac{P_u \cdot b_1 - per \cdot b_2}{P_{CI} \cdot Q} \dots \dots \dots \text{Fórm. 93}$$

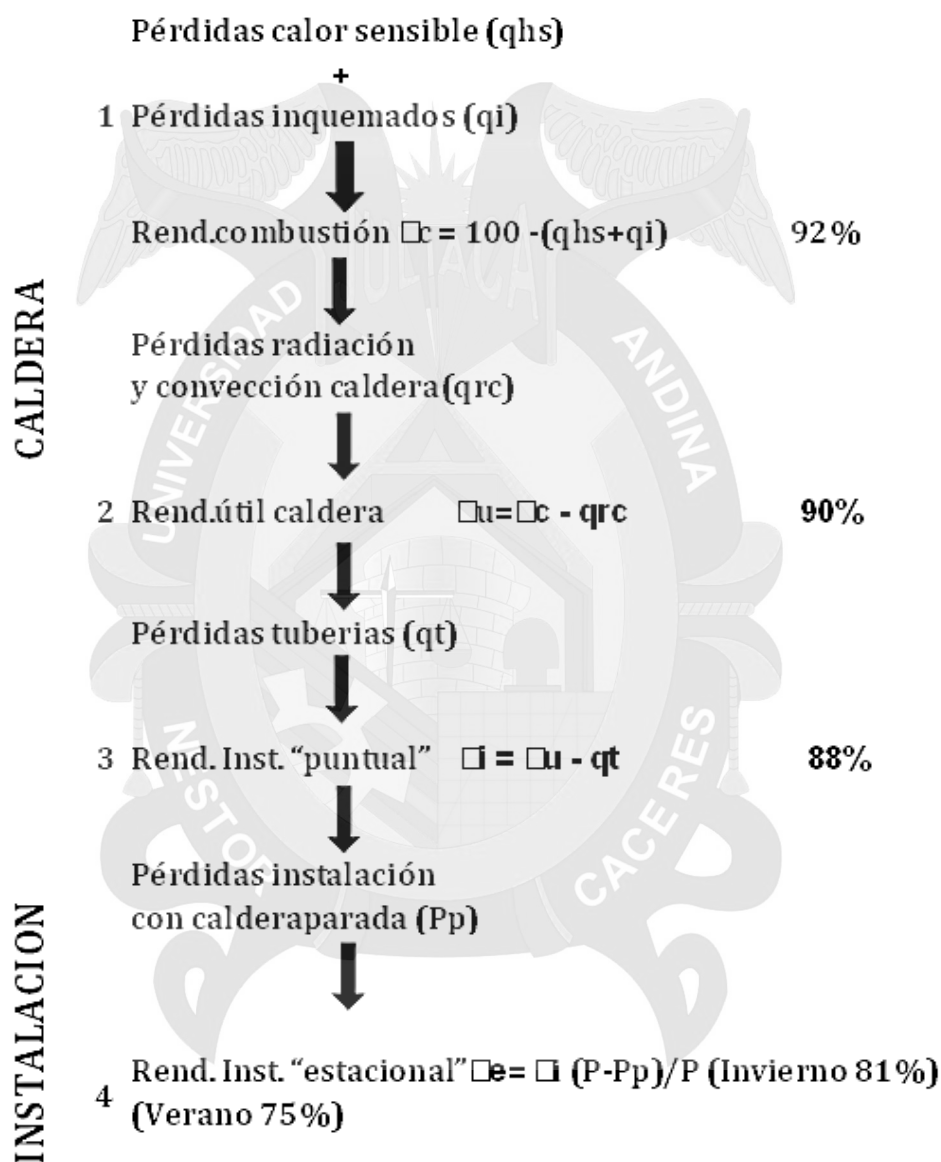
$$\begin{aligned} &= \eta_i = \frac{per \cdot b_2}{P_{CI} \cdot Q} = \eta_i - \frac{per \cdot b_2}{P_{CI} \cdot \frac{P_u \cdot b_1}{P_{CI} \cdot \eta_i}} \\ &= \eta_i - \frac{\eta_i \cdot per \cdot b_2}{P_u \cdot b_1} \dots \dots \dots \text{Fórm. 94} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\eta_i \cdot P_u \cdot b_1 - \eta_i \cdot per \cdot b_2}{P_u \cdot b_1} \\ &= \frac{\eta_i (P_u \cdot b_1 - per \cdot b_2)}{P_u \cdot b_1} \dots \dots \dots \text{Fórm. 95} \end{aligned}$$

$$\frac{\eta_i (P - P_p)}{P} = \frac{\eta_i \cdot P_n}{P} = \eta_e \dots \dots \dots \text{Fórm. 96}$$

1.1.4.5 Resumen de rendimientos

Para clarificar la determinación del rendimiento estacional (η_e), seguidamente desarrollaremos dos casos en donde se verán aplicadas las fórmulas de la figura 5.16.



* Estos últimos son valores orientativos, similares a los que tendría una caldera de chapa. Los del rendimiento estacional, pueden variar sustancialmente, ya que dependen del tipo de regulación, del exceso de potencias en caldera y del aislamiento.

Figura 5.16. Resumen de rendimientos

Fuente: Elaboración propia obteniendo de los resultados

• Caso 1

Se trata de una caldera que se utiliza para producción de Agua Caliente Sanitaria. En invierno, la caldera trabaja mucho más tiempo que en verano, con lo cual, el rendimiento estacional, como veremos, será menor en este periodo que en invierno. Debemos señalar que para el altiplano los meses de invierno y de verano son al revés que en la costa y esto se ha considerado para el cálculo

Datos:

- ✓ Caldera de 18.000 kcal/h.
- ✓ Combustible gasóleo PCI 8.900 kcal/l.
- ✓ Rendimiento útil de la caldera 90%.
- ✓ Pérdidas en tuberías cuando está en funcionamiento la caldera 2%.
- ✓ Pérdidas estimadas en la instalación (caldera y tuberías) cuando está parada (por termostato) 900 kcal/h.
- ✓ Tiempo medio que funciona la caldera durante el día. Invierno 11 horas. Verano 6 horas.

Determinar el rendimiento estacional en invierno y en verano

Primeramente determinaremos el rendimiento "puntual" de la instalación que será el mismo para invierno y verano.

$$\eta_i = \eta_u - q_t = 90\% - 2\% = 88\% = 0,88$$

Invierno

Potencia diaria desarrollada por la caldera:

$$P = P_u \cdot h_1 = 18.000 \text{ kcal/h}; 11 \text{ h} = 198.000 \text{ kcal}$$

Consumo combustible:

$$Q = \frac{P}{PCI \cdot \eta_i} = \frac{198000}{8900 \cdot 0.88} \dots \dots \dots \text{Fórm. 97}$$

$$Q = 25.3 \text{ lts gasoleo día}$$

Pérdidas diarias de la instalación:

$$P_p = p_{er} \cdot h_2 = 900 \text{ kcal/h}$$



$$(24-11) h = 11.700 \text{ kcal}$$

Potencia neta aprovechada

$$P_n = P - P_p = 198.000 \text{ kcal} - 11.700 \text{ kcal} = 186.300 \text{ kcal}.$$

Cálculo del rendimiento estacional en invierno:

$$\eta_e = \frac{P_n}{PCI * Q} = \frac{186300}{8900 * 25.3} \dots \dots \dots \text{Fórm. 98}$$

$$Q = 0.83 = 83\%$$

Aplicando la otra fórmula:

$$Q = \frac{\eta_i * P_n}{P} = \frac{0.88 * 186.300}{198000}$$

$$Q = 0.83 = 83\%$$

Verano

Potencia diaria desarrollada por la caldera:

$$P = P_u \cdot h_1 = 18.000 \text{ kcal/h} \cdot 6h == 108.000 \text{ kcal}$$

Consumo combustible:

$$Q = \frac{P}{PCI * \eta_i} = \frac{108000}{8900 * 0.88}$$

$$= 13.8 \text{ lts gasoleo día}$$

Pérdidas diarias de la instalación:

$$P_p = p_{er} \cdot h_2 = 900 \text{ kcal/h}$$

$$(24-6) h = 16.200 \text{ kcal}$$

Potencia neta aprovechada

$$P_n = P - P_p = 108.000 \text{ kcal} - 16.200 \text{ kcal} = 91.800 \text{ kcal}$$

Cálculo del rendimiento estacional:

$$\eta_e = \frac{P_n}{PCI * Q} = \frac{91800}{8900 * 13.8}$$

$$\eta_e = 0.75 = 75\%$$

El caso que hemos desarrollado ha sido con una caldera destinada exclusivamente para producción de Agua Caliente Sanitaria. Sin embargo, existen muchas instalaciones centralizadas en bloques de viviendas en que la caldera efectúa en invierno los servicios de calefacción y de producción de Agua Caliente Sanitaria y en verano sólo el de Agua Caliente Sanitaria.

El rendimiento estacional en verano será muy bajo, ya que habrá exceso de potencia de caldera.

• Caso 2

- ✓ Caldera de 200.000 kcal/h (Calefacción + Agua Caliente Sanitaria)
- ✓ Combustible gasóleo PCI = 8.900 kcal/l
- ✓ Rendimiento útil de la caldera 89%
- ✓ Pérdidas en tuberías 3%
- ✓ Pérdidas estimadas en la instalación con caldera parada por termostato 4.000 kcal/h
- ✓ Consumo diario de Agua Caliente Sanitaria en verano 6.000 lts a 45°C
- ✓ Temperatura agua red en verano 20°C

Determinar el rendimiento estacional de verano

Cálculo de la potencia diaria necesaria para calentar el agua de 20°C a 45°C:

$$P_n = 6.000 \text{ lts. } (45^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 150.000 \text{ kcal}$$

Tiempo funcionamiento caldera:

$$T = \frac{P_n}{P_u} = \frac{150000 \text{ kcal}}{200000 \text{ kcal/h}} = 0.75h$$

Pérdidas diarias de la instalación:

$$P_p = p_{er} \cdot h_2 = 4.000 \text{ kcal/h}$$

$$(24h-0, 75 h) = 93.000 \text{ kcal}$$

Potencia diaria a desarrollar por la caldera:

$$\text{Calentamiento agua} \quad 150.000 \text{ kcal}$$

$$\text{Pérdidas} \quad 93.000 \text{ kcal}$$

$$P = 243.000 \text{ kcal}$$

Cálculo del rendimiento "puntual"

$$\eta_i = \eta_u - q_t = 89\% - 3\% = 86\% = 0,86$$

Consumo de combustible:

$$Q = \frac{P}{PCI \cdot \eta_i} = \frac{243000}{8900 \cdot 0.86} =$$
$$= 31.75 \text{ lts gasoleo día}$$

Cálculo del rendimiento "estacional":

$$\eta_e = \frac{P_n}{PCI \cdot Q} = \frac{150000 \text{ kcal}}{8900 \cdot 31.75 \text{ l.}} =$$
$$= 0.53 = 53\%$$

1.1.4.5.1 Consideraciones

Para mejorar o mantener el rendimiento estacional (η_e) con valores elevados observarse los puntos siguientes:

Adaptar la caldera a las necesidades de la instalación. Sabemos que la elección de la potencia calorífica de la caldera cuando se va a utilizar para calefacción, se

hace para unas condiciones mínimas de temperatura exterior, que en la práctica se dan en muy pocos días. Por tanto, en la mayoría del periodo invernal habrá un exceso de potencia en la caldera como podemos ver gráficamente en la Figura 5.17 a continuación.

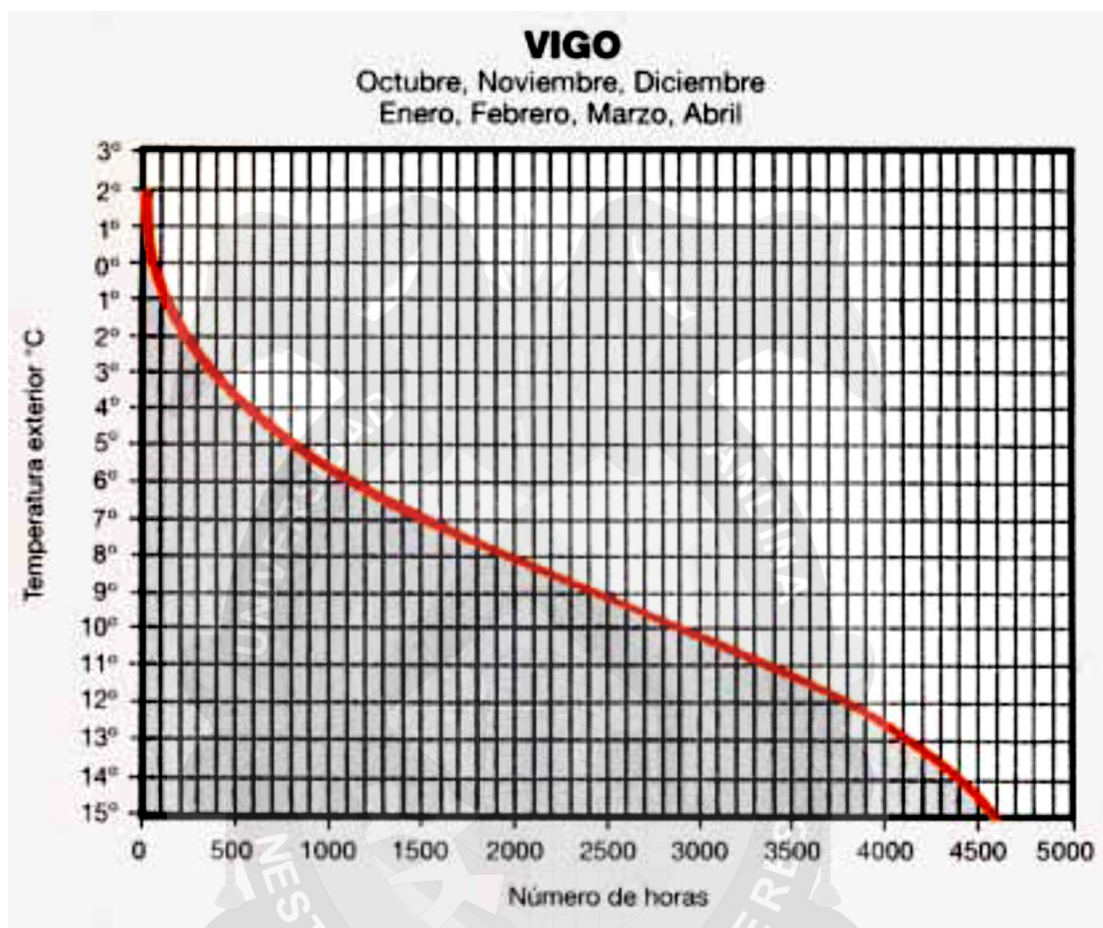


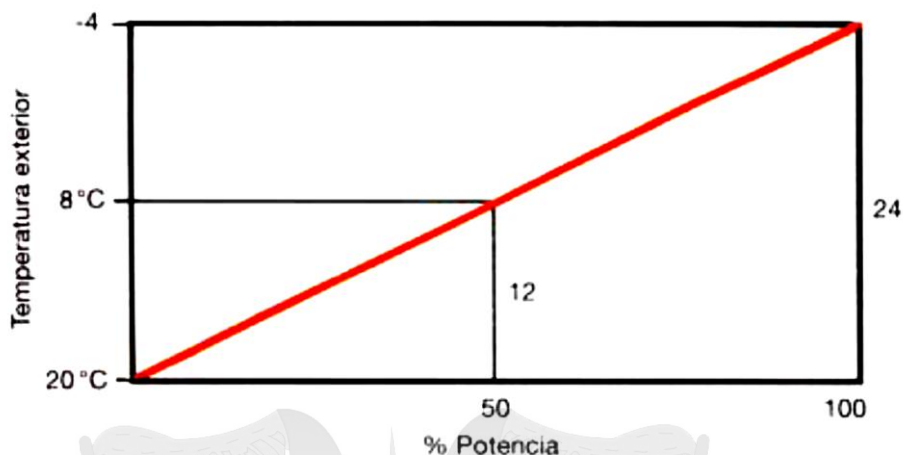
Figura 5.17. Análisis del trabajo de la caldera en diferentes meses
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

En todas las zonas climáticas del altiplano, la temperatura media del periodo calefacción suele oscilar entre 7°C y 9°C. Para estas condiciones de temperatura exterior las necesidades caloríficas serían (Fig. 12):

Las necesidades caloríficas son del 50% de la de cálculo

$$\frac{100}{24} = \frac{x}{12}$$

$$x = \frac{100 * 12}{24} = 50\%$$



Si se utiliza un quemador de una sola etapa (1 llama) y el galonaje de la boquilla es para el 100% de la potencia, gráficamente el comportamiento de funcionamiento sería el que vemos en la figura 5.18.

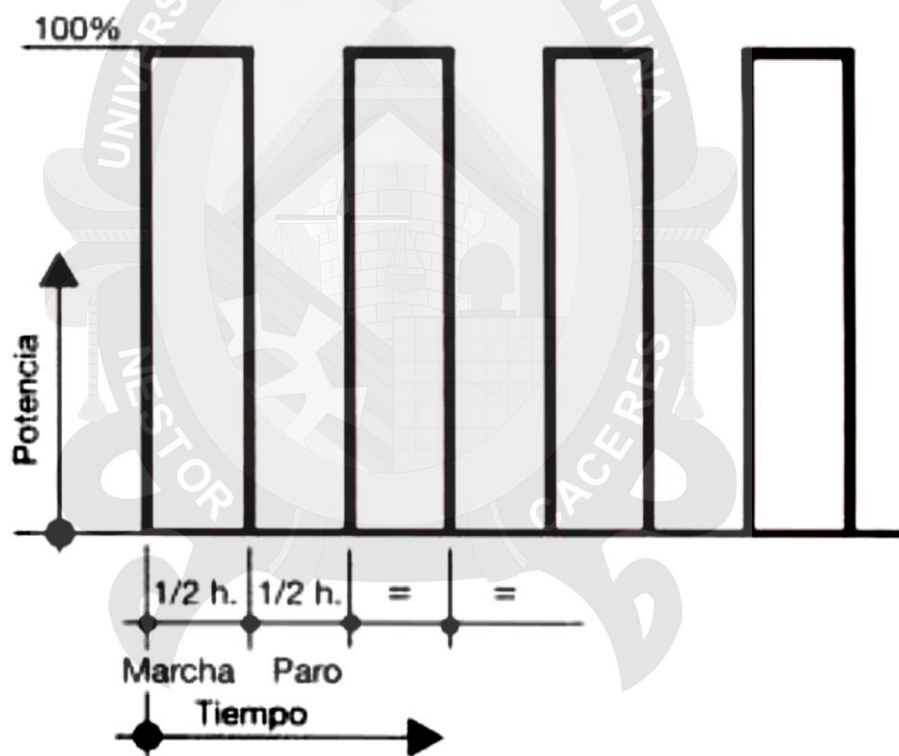


Figura 5.18. Comportamiento del funcionamiento de la caldera con un quemador.
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

Existe un exceso de potencia del 50%, el tiempo de paro es largo y el rendimiento estacional (η_e) es bajo. Para mejorar este rendimiento podríamos adoptar dos soluciones:

- Sustituir la boquilla por una de galonaje del 50% de la potencia.
- Colocar un quemador de dos etapas, en donde la boquilla de 1ª llama y la de 2ª llama aporten cada una de ellas el 50% de la potencia y hacer trabajar el quemador con la 1ª llama.

En ambas soluciones el gráfico teórico de funcionamiento sería el que se muestra en la figura 5.19. El quemador trabajaría de forma continuada. De todos modos, la mejor solución sería la b) ya que si la instalación está fría, de modo automático entraría la 2ª llama, factor importante para elevar rápidamente la temperatura del agua de la caldera para evitar condensaciones, cosa que ocurre si por la noche se ha parado la instalación. En este caso, el gráfico de funcionamiento sería el de la figura 5.20.



Figura 5.19. Sustitución de una boquilla por una de 50% de galonaje de la potencia
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

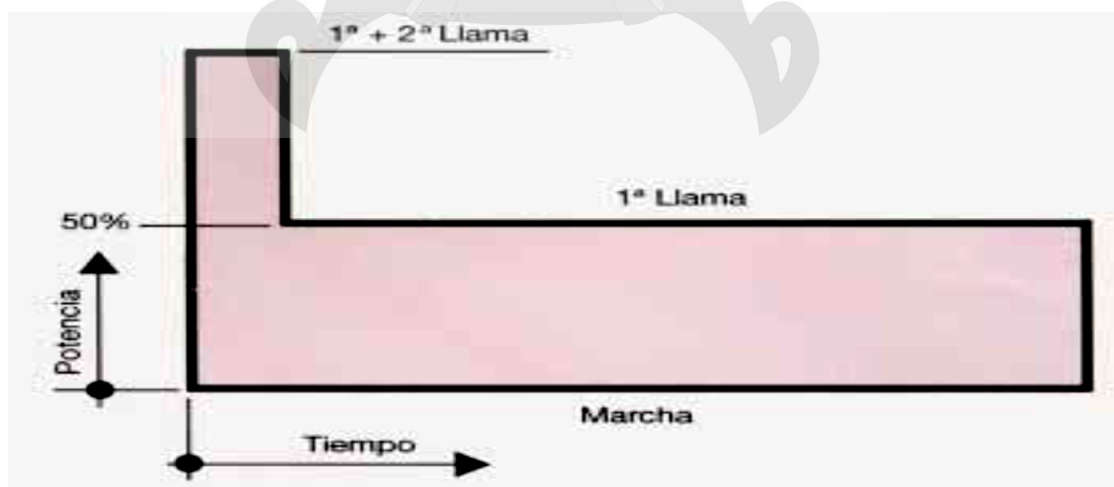


Figura 5.20. Colocando un quemador de dos etapas
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

Los tres gráficos expuestos de funcionamiento de los quemadores son teóricos, ya que se ha considerado una temperatura exterior constante de 8°C que en la realidad no ocurre nunca, ya que para una temperatura media de 8°C siempre existen en el día unas temperaturas superiores e inferiores (Figura 5.21).

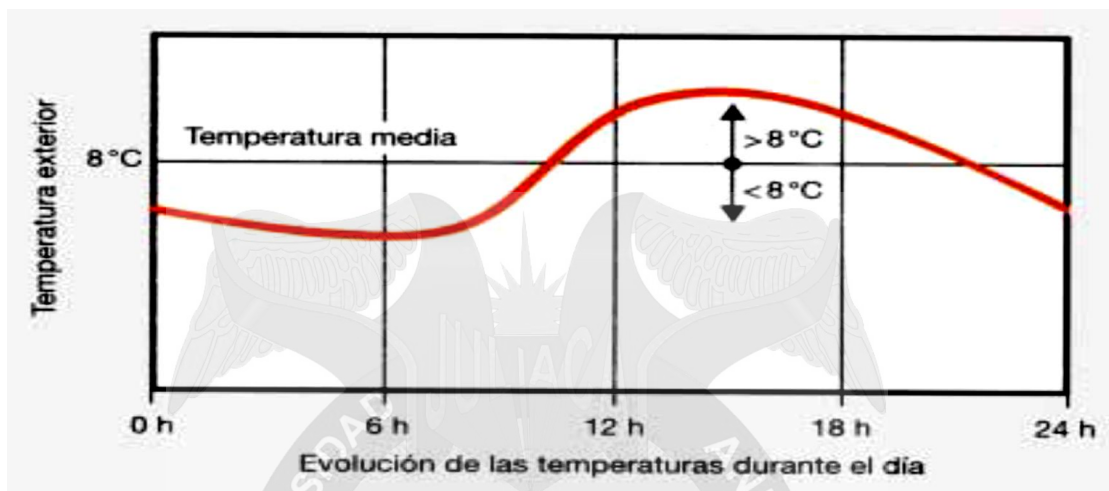


Figura 5.21. Evolución de las temperaturas durante el día.

Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

El gráfico más real de funcionamiento de un quemador de dos llamas, suponiendo que la instalación se pone en marcha a las seis de la mañana y se para a las diez de la noche, sería la que vemos en la figura 5.22.

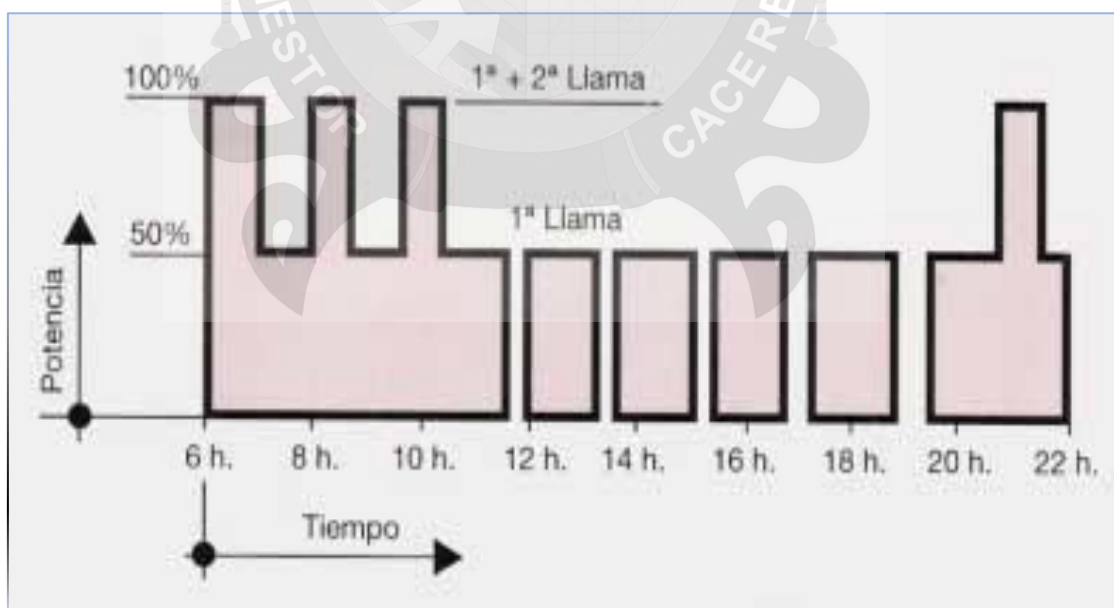


Figura 5.22. Gráfico real de funcionamiento de quemador.

Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

Independizar el servicio de calefacción y el de producción de Agua Caliente Sanitaria. Es conveniente utilizar una caldera sólo para el servicio de calefacción y otra, para el de producción de Agua Caliente Sanitaria. En el Perú el actual reglamento lo exige para potencias de caldera superiores a 50 kW (43.000 kcal/h).

- Instalar dos o más calderas en lugar de una sola. Con ello, conseguiremos una adaptación más correcta a las necesidades caloríficas de la instalación.

El reglamento lo obliga para potencias nominales superiores a 300 kW (258.000 kcal/h).

- Tener el quemador y caldera en óptimas condiciones de funcionamiento. El quemador y la caldera deben estar limpios, en estas condiciones será cuando obtendremos los mejores rendimientos.

- Efectuar una buena regulación de la combustión. El contenido de CO₂, en una buena combustión, para los combustibles más utilizados son:

<i>Gasóleo</i>	12 ÷ 13% CO ₂
<i>Gas natural</i>	9 ÷ 10% CO ₂
<i>Carbón</i>	13 ÷ 16% CO ₂

En calderas de fundición estos valores suelen ser algo menores.

- Disponer de un buen sistema de regulación de la instalación. Uno de los más efectivos es la centralita de regulación que actúa, esencialmente, en función de la temperatura exterior.

- Aislar las tuberías. Todas las tuberías, cuyo calor que ceden no sea aprovechable, deben aislarse térmicamente. Lo mismo para otros elementos de la instalación, como por ejemplo los depósitos acumuladores.

• **Instalación con presostato**

Las conexiones eléctricas de estos elementos deben colocarse en serie con la alimentación eléctrica del quemador. La misión de estos dispositivos es producir el paro del quemador, cuando existe falta de agua en la instalación. En caso contrario, existiría el peligro de que la caldera se quedara sin agua, por cualquier fuga que existiese en la instalación, produciéndose la avería de la caldera.

1.1.4.6 Protección de las calderas de acero contra la corrosión por condensaciones

Una de las prevenciones a tener en cuenta en una instalación con caldera de acero es la de evitar la corrosión de la misma, debido a las condensaciones que puedan producirse cuando los humos alcanzan determinadas temperaturas.

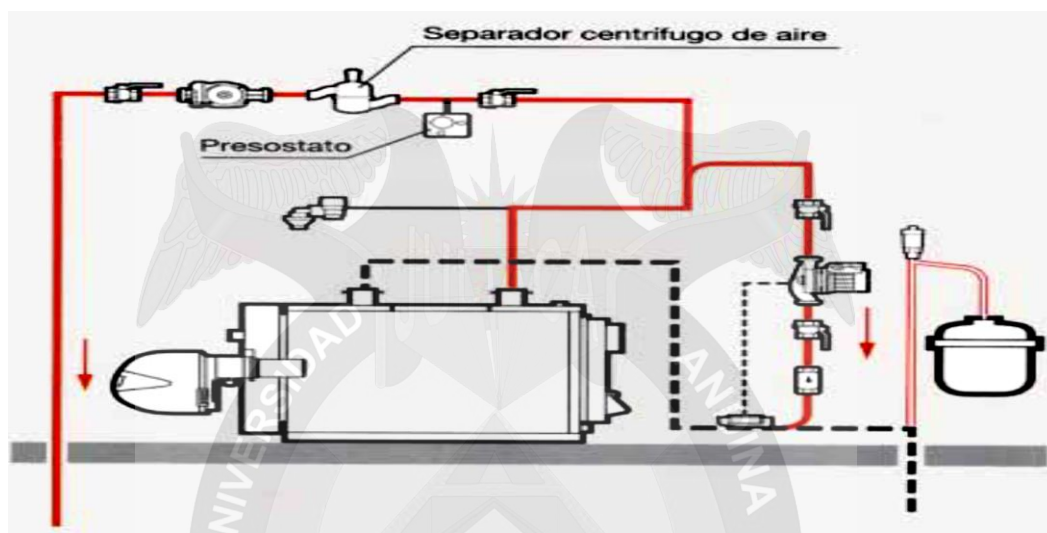


Figura 5.23. Elementos que se pueden colocar para evitar la corrosión
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

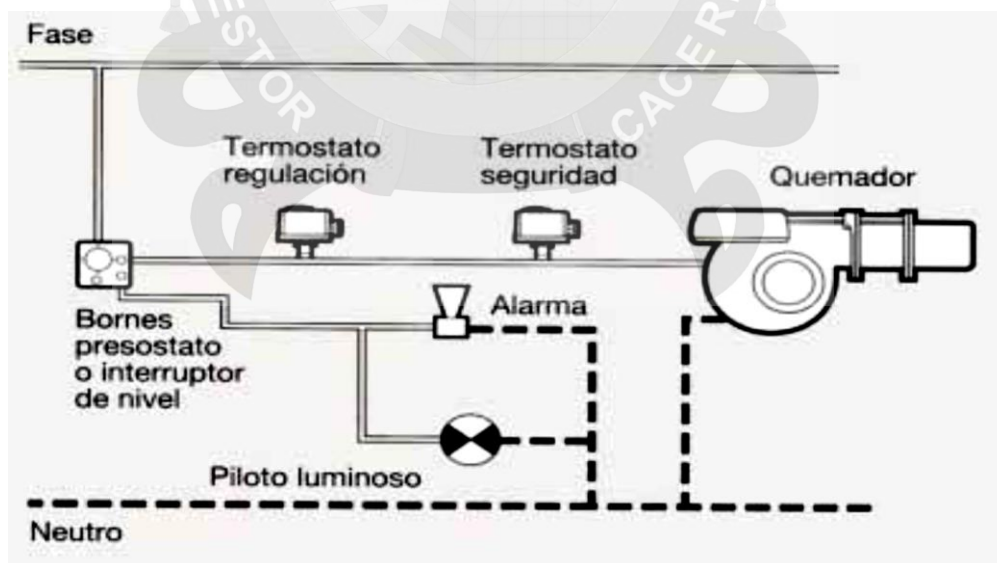


Figura 5.24. Esquema de conexionado
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

Todos los combustibles, en su composición, tienen azufre. Cuando el combustible se quema, los gases procedentes de la combustión (humos) contienen vapor de agua en el seno de su volumen. Si la temperatura del agua de la caldera está por debajo de un cierto valor, los gases de la combustión en contacto con la chapa del circuito de humos de la caldera se enfrían excesivamente y se produce la condensación del vapor de agua humedeciendo las superficies metálicas de la caldera.

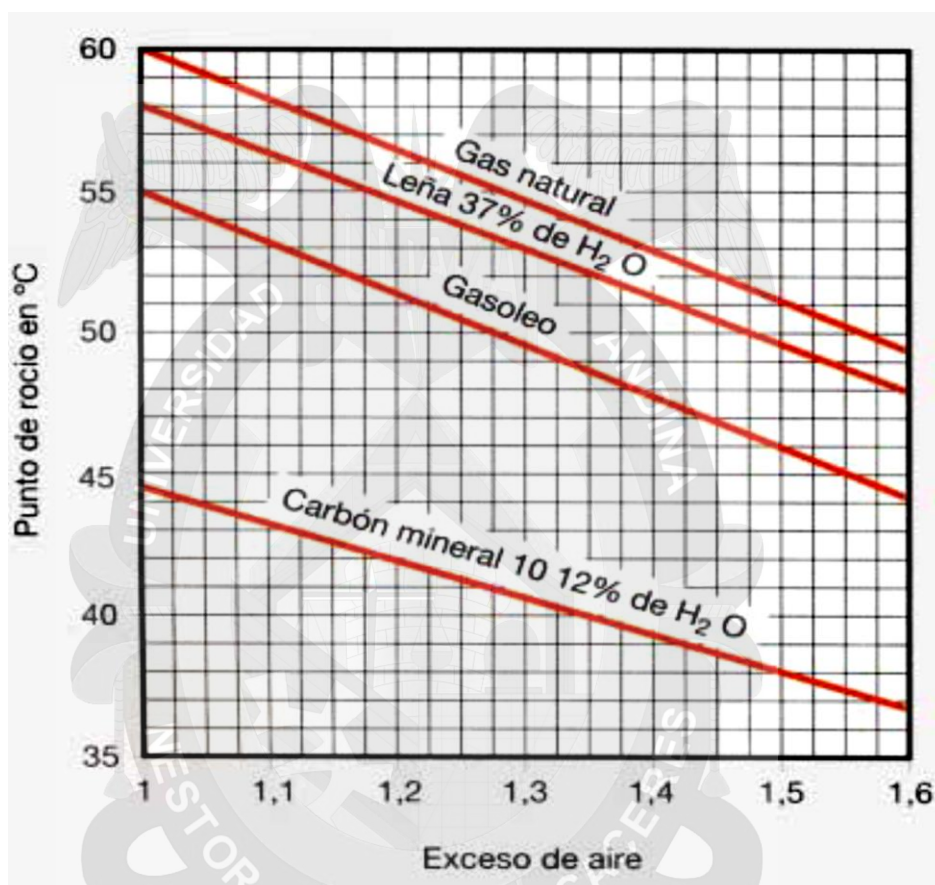
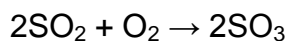
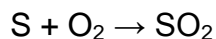


Figura 5.25. Composición de algunos combustibles.

Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YpFepnwcgIIJ:www.campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/CALDERAS/Rendimiento%2520De%2520Calderas.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk>

A esta temperatura de condensación se le conoce también como punto de rocío, es variable, depende del tipo de combustible y del exceso de aire que existe en la combustión (Figura 5.20).

La reacción que resulta después de la combustión es (Figura 5. 26):



El anhídrido sulfuroso en combinación abundante de oxígeno, forma anhídrido sulfúrico. Este último en contacto con el agua de condensación que cubre la superficie del hogar, se transforma en ácido sulfúrico que tiene efectos muy corrosivos, en especial en calderas de acero (Figura5. 26).

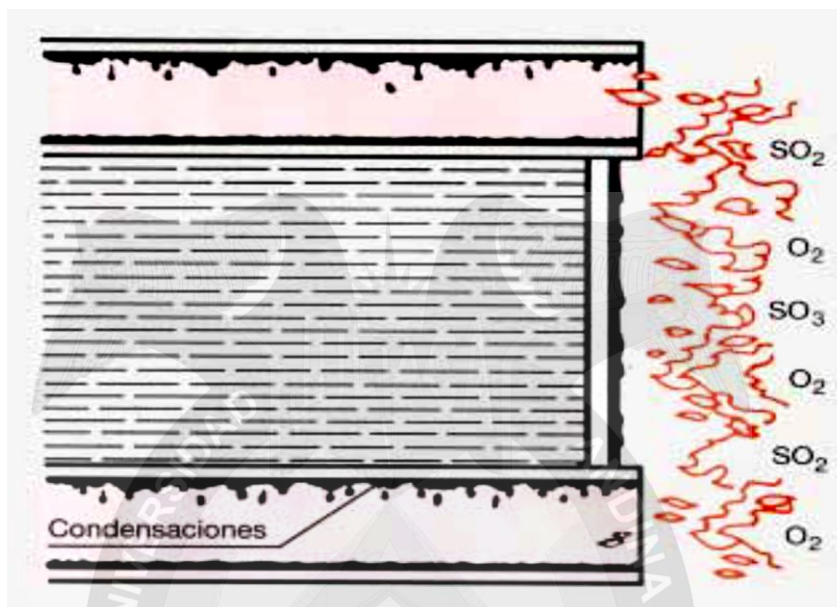


Fig. 5.26. Superficies húmedas por condensación de vapor de agua.
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YpFepnwcglIJ:www.campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/CALDERAS/Rendimiento%2520De%2520Calderas.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk>

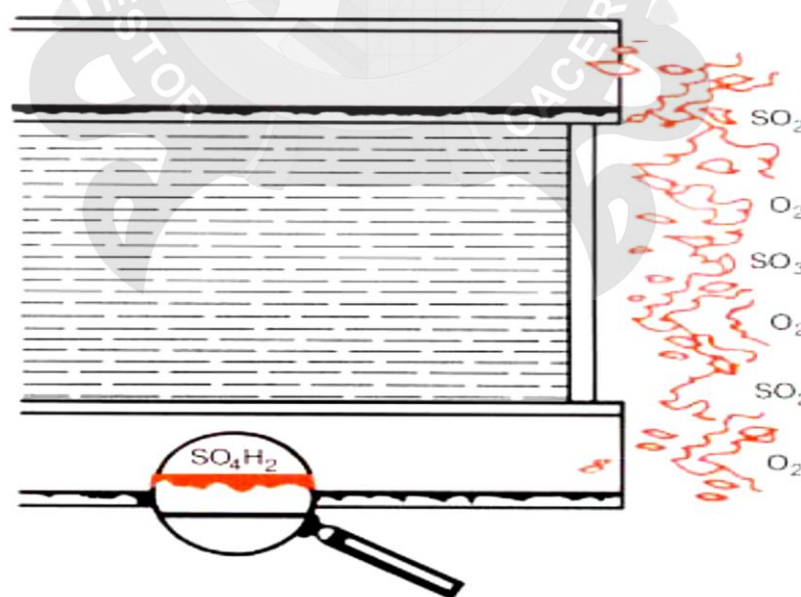


Fig. 5.27. Superficies corroídas por efectos de las condensaciones.
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YpFepnwcglIJ:www.campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/CALDERAS/Rendimiento%2520De%2520Calderas.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk>

Para evitarlo, debemos conseguir que las superficies del circuito de humos de la caldera estén siempre por encima de la temperatura del punto de rocío del combustible que se utilice. Cuando el combustible utilizado contenga más del 0,7% de azufre, además del punto de rocío húmedo, debe considerarse el punto de rocío ácido (Figura 5.28).

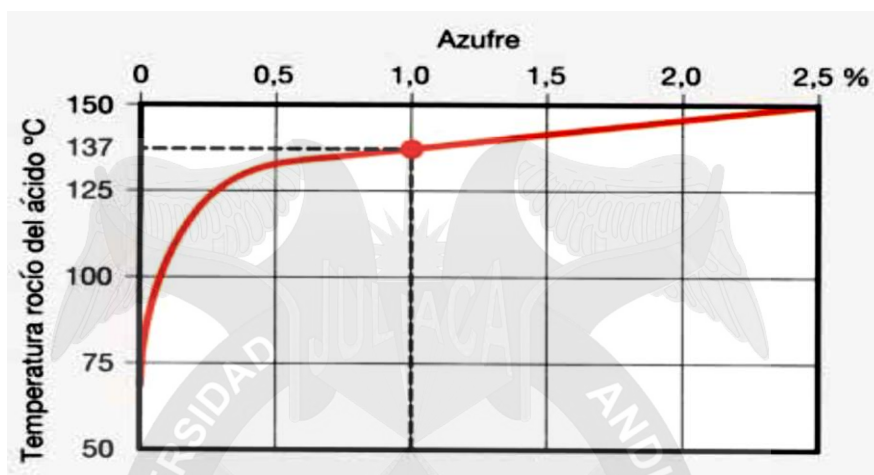


Figura 5.28. Temperatura de rocío del ácido según contenido de azufre.
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

Esta temperatura en la cual se produce la condensación ácida depende del porcentaje de azufre del combustible. Aproximadamente tiene lugar entre 120°C y 150°C. El gráfico de Hoffman y Thurlow para el gasóleo hace un resumen de lo expuesto, demostrando la intensidad de corrosión según la temperatura de la superficie metálica (Figura 5.29).

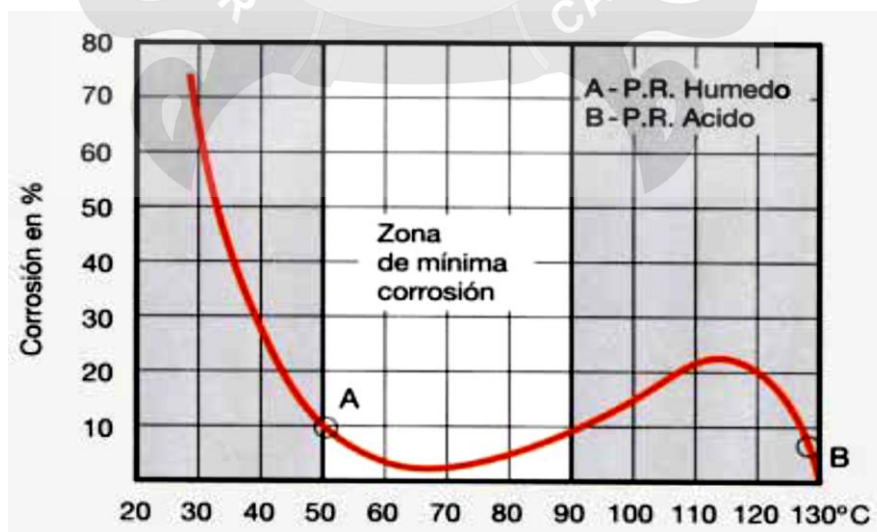


Figura 5.29. Intensidad de corrosión según temperatura.
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

Puede observarse, que entre el punto de rocío húmedo y el ácido, existe un aumento de la corrosión que si bien no tiene importancia para combustibles de poco contenido en azufre, puede tenerla cuando el contenido aumenta. La zona de mínima corrosión, queda comprendida entre los 50°C y 90°C. Para evitar que se produzcan condensaciones debe hacerse trabajar la caldera de forma que el agua de retorno (entrada a la caldera) sea:

- ✓ Temperatura de retorno mayor o igual a 60°C, utilizando combustibles fluidos o leña.
- ✓ Temperatura de retorno mayor o igual a 50°C, utilizando combustible carbón.

• **Prevención de las condensaciones**

El mejor sistema para reducir o eliminar las condensaciones es colocar un circulador anticondensación. Consiste en intercalar un bypass con un circulador entre ida y retorno, después de la caldera, para que pueda elevar la temperatura del retorno mezclando agua que proviene de la instalación con la que sale de la caldera (ida). Este circulador irá comandado por un termostato de inmersión (o de contacto) situado en la tubería de retorno próxima a la caldera.

El caudal que debe hacer circular el circulador anticondensación deberá ser:

$$\text{Caudal } 1 \text{ h} = \frac{P(\text{potencia caldera kcal h})}{40} \dots\dots\dots \text{Fórm. 99}$$

La pérdida de carga (presión) a vencer por el circulador anticondensación deberá considerarse de unos 500 mm.c.a.

1.1.4.6.1 Conclusión

En todas las calderas de chapa de acero es necesario colocar un circulador anticondensación, para evitar la corrosión por condensaciones, y de esta forma prolongar el tiempo de duración y servicio de la caldera (Figura 5.30).

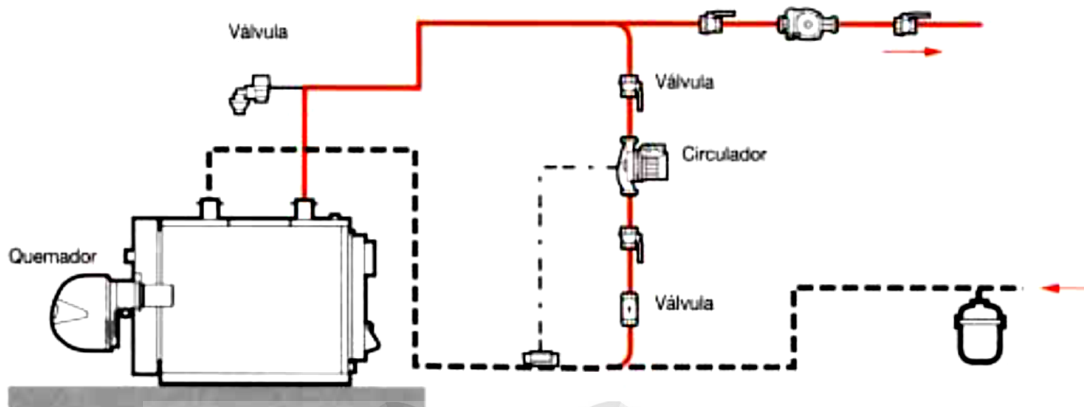


Figura 5.30. Ubicación del circulador anticondensación.

Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

1.1.4.6.2 Agua de la instalación

El agua en la naturaleza se encuentra combinada con sales, gases e impurezas. Por tanto, en las instalaciones de calefacción se deberán tener en cuenta estos componentes porque influyen en el rendimiento y duración de la instalación, en especial de la caldera, por ser el elemento sometido a mayores temperaturas. En el agua las sales están normalmente en solución a temperatura ambiente. El contenido de estas sales varía de un 0,2 gr. a 0,5 gr. por litro. Pudiéndose clasificar en dos grupos:

- Carbonatos y bicarbonatos:

- Carbonato de calcio : Ca CO_3
- Bicarbonato de calcio : $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$
- Carbonato de magnesio : $\text{CO}_3 \text{Mg}$
- Bicarbonato de magnesio : $(\text{CO}_3\text{H})_2 \text{Mg}$

- Sulfatos, cloruros y silicatos:

- Sulfato cálcico : $\text{SO}_4 \text{Ca}$ (yeso)
- Cloruro cálcico : $\text{CL}_2 \text{Ca}$
- Silicato cálcico : $\text{SiO}_2 \text{Ca}$

a) Dureza del agua

El contenido de sales en el agua determina la dureza de la misma. Esta puede ser:

Dureza temporal o dureza de carbonatos, generalmente desaparece al calentar el agua. El bicarbonato cálcico $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$ es soluble en el agua, pero al calentarla, se descompone según la siguiente ecuación:



Formándose carbonato cálcico CO_3Ca que precipita formando lodos o incrustaciones a partir de $60^\circ\text{C} \div 65^\circ\text{C}$ quedando libre CO_2 .

- Dureza permanente debida a los sulfatos, cloruros y silicatos. Difícil de eliminar calentando el agua, se puede neutralizar aditivando productos químicos. Tiene una solubilidad ≈ 70 veces mayor que la debida a los carbonatos.

b) Incrustaciones

Las principales incrustaciones que se producen en las calderas son las siguientes:

Carbonato de calcio : CO_3Ca

Carbonato de magnesio : CO_3Mg

Sulfato de calcio : SO_4Ca

Silicato de calcio : SiO_3Ca

Una incrustación de 1mm de espesor consume un 10% más de combustible (Figura 5.31).

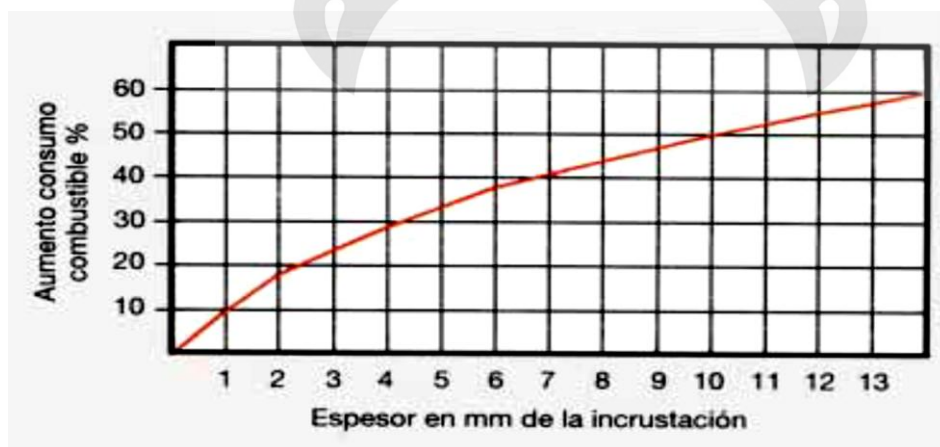


Figura 5.31. Aumento del consumo de combustible por incrustaciones.
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

Las incrustaciones calcáreas en las calderas reducen la transmisión de calor entre cámara de combustión y el agua de la caldera. La chapa no se refrigera, produciendo sobretensiones en el material, deformación y fisuras en las calderas.

Tabla de conversión					
	Od	Of	Oi	Ou	Mg/L Ppm CO ₃ Ca
1 grado alemán (1°d)	1	1.78	1.25	1.04	17.8
1 grado francés (1°f)	0.56	1	0.702	0.58	10
1 grado inglés (1°i)	0.798	1.43	1	0.83	14.3
1 grado USA (1°u)	0.96	1.71	1.2	1	9.6
1 ppm de CO ₃ Ca = 1mg/l	0.056	0.1	0.0702	0.058	1

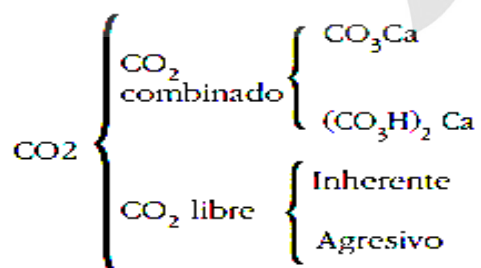
Clasificación del agua según dureza		
Grados Alemanes	Grados Franceses	
0:8°d	0:14°f	Agua blanda
0:15°d	14:27°f	Agua semidura
Más de 15°d	Más de 27°f	Agua dura

Tabla5.5. Clasificación del agua según la dureza
Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>

1.1.4.6.3 Corrosividad

El agua, tal como indicábamos, contiene gases en disolución. La causa principal de la corrosión es el oxígeno (O₂) y el anhídrido carbónico (CO₂), disueltos en el agua.

Anhídrido carbónico (CO₂).- Se encuentra combinado con los carbonatos o libre.



CO₂ combinado.- Formando carbonatos y bicarbonatos.

CO₂ inherente.- Es el necesario para mantener en solución los carbonatos (equilibrio carbonatos y bicarbonatos).



CO₂ agresivo.- Disuelve la capa de cal protectora (película) que se forma en las paredes de la caldera (No confundir con incrustación).

Oxígeno (O₂).- Es el principal elemento productor de corrosión, se produce generalmente por reacciones electroquímicas.

Valor pH.- El pH es un símbolo arbitrario que se ha adaptado para expresar el grado de acidez o alcalinidad de un agua. El agua pura (destilada) a 18°C tiene un pH 7. Por debajo de 7, las aguas son ácidas, por encima de 7, alcalinas. El valor pH varía con la temperatura (Tabla IV).

O sea, al elevar la temperatura el pH de las aguas disminuye.

1.1.4.6.4 Consideraciones

En una instalación de calefacción deberán evitarse las incrustaciones y la corrosión. Para ello:

- Evitar la entrada de aire (oxígeno) con un correcto proyecto e instalación.
- Colocar purgadores de aire en los puntos altos de la instalación.
- Verificar que el nivel de agua de la instalación se mantiene constante y que sólo excepcionalmente deba añadirse agua.
- Instalar, siempre que sea posible, vasos de expansión cerrados.
- pH del agua entre 7,5 a 8,5
- Si la dureza del agua es $8 \div 12^\circ F$ no es necesario ablandarla.

En el caso de que el agua de la instalación no reúna lo indicado en e) y f) deberá tratarse el agua.

La mejor protección para una instalación es mantener la misma agua en el circuito, sin tener que rellenarlo.

En este caso las incrustaciones y corrosión serán mínimas.

Valor pH y temperatura				
°C	0	18	50	100
pH	7.45	7	6.61	6.07

Tabla 5.6. Valor de pH y temperatura

Fuente: <http://webcache.googleusercontent.com>



CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO



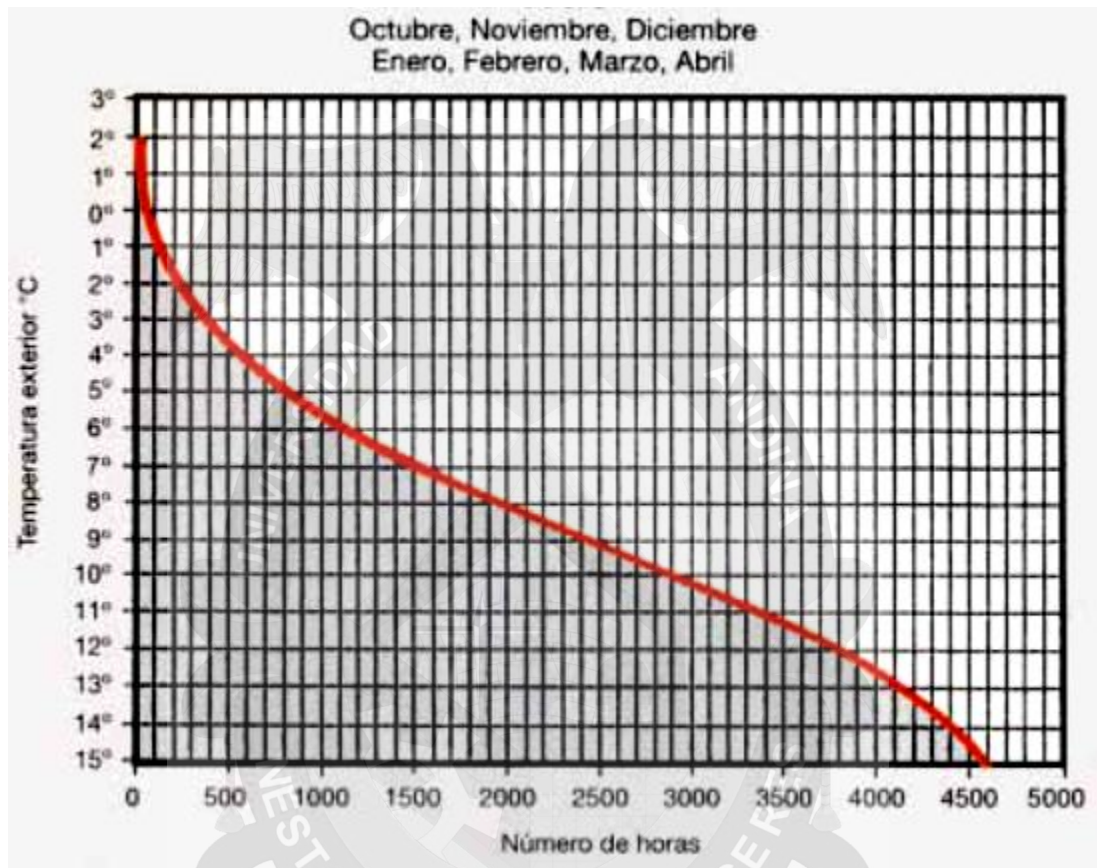
Proyecto FABRICACION DE UNA CALDERA PIROTUBULAR HORIZONTAL DE 15BHP					
Descripcion: Costos de materiales y componentes de una caldera de 15BHP					
Dpto: PUNO		Provincia: SAN ROMAN			
Distrito: JULIACA		Fecha: julio - 2015			
ITEM	DESCRIPCION	METRADO		COSTO (S./.)	
		UNID	CANT	UNITARIO	PARCIAL
1	MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA				
1.1	Plancha ASTM - 285 grado "C" 3/8"	m2	1	733.77	S/. 733.77
1.2	Plancha Laf de 1/20	m2	2	120.00	S/. 240.00
1.2	Tubo ASTM a192 sin costura 2"	m	7	180.00	S/. 1,260.00
1.3	Perfil U 1/4 espesor	m	1	230.00	S/. 230.00
1.4	Tejas refractarias	und	10	20.00	S/. 200.00
1.5	Lana de roca mineral 2"	m2	1	400.00	S/. 400.00
	SUBTOTAL MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA				S/. 3,063.77
2	COMPONENTES PARA CALDERA				
2.1	Quemador	und	1	6,000.00	S/. 6,000.00
2.2	Electrobomba	und	1	350.00	S/. 350.00
2.3	Control de nivel McDONNELL	und	1	560.00	S/. 560.00
2.3	Tablero de control	und	1	4,000.00	S/. 4,000.00
2.4	Mirilla de observacion	und	1	1,000.00	S/. 1,000.00
2.5	Valvula de seguridad	und	1	250.00	S/. 250.00
2.6	Valvulas de purga	und	6	60.00	S/. 360.00
	PRESUPUESTO TOTAL DE MATERIALES				S/. 12,520.00
3	TRABAJOS DE PREPARACION				
3.1	Rolado de planchas		1	500.00	S/. 500.00
3.2	Corte y preparado de espejos		2	120.00	S/. 240.00
3.3	Corte y preparacion de tubos		36	10.00	S/. 360.00
	SUBTOTAL TRABAJOS DE PREPARACION				S/. 1,100.00
4	MANO DE OBRA				
4.1	Mecanico soldador	hora	56	35.00	S/. 1,960.00
4.2	Ayudante mecanico soldador	hora	60	20.00	S/. 1,200.00
4.3	Electricista	hora	42	20.00	S/. 840.00
4.4	Ayudante de electricista	hora	50	15.00	S/. 750.00
	SUBTOTAL MANO DE OBRA				S/. 4,750.00
	TOTAL				S/. 21,433.77
	COSTOS INDIRECTOS (25%)				S/. 5,358.44
	TOTAL DE LA OBRA				S/. 26,792.21

Tabla 6.1. Costos de materiales componentes y mano de obra para la caldera de 15bhp.

Fuente: Elaboración propia con los cotización de materiales en Microsoft Excel.

ANÁLISIS DE COSTOS OPERACIONALES

En todas las zonas climáticas del altiplano, la temperatura media del periodo calefacción suele oscilar entre 7°C y 9°C. Para estas condiciones de temperatura exterior las necesidades caloríficas serían como se muestra en la siguiente figura:



Temperatura exterior vs Número de horas

Fuente: Elaboración propia.

Las necesidades caloríficas son del 50% de la de cálculo

$$\frac{100}{24} = \frac{x}{12}$$
$$x = \frac{100 * 12}{24} = 50\%$$

Por tal motivo podemos afirmar que las necesidades varían con respecto a la estación del año, en el caso de nuestra propuesta el uso de elementos y dispositivos accesorios hará posible un ahorro energético del 50%.

Para mejorar este rendimiento podríamos adoptar dos soluciones:

- Sustituir la boquilla por una de galonaje del 50% de la potencia.
- Colocar un quemador de dos etapas, en donde la boquilla de 1ª llama y la de 2ª llama aporten cada una de ellas el 50% de la potencia y hacer trabajar el quemador con la 1ª llama.

En ambas soluciones el gráfico teórico de funcionamiento sería el que se muestra en la figura 5.15. El quemador trabajaría de forma continuada. De todos modos, la mejor solución sería la b) ya que si la instalación está fría, de modo automático entraría la 2ª llama, factor importante para elevar rápidamente la temperatura del agua de la caldera para evitar condensaciones, cosa que ocurre si por la noche se ha parado la instalación. En este caso, el gráfico de funcionamiento sería el de la figura 5.16.



Figura 5.15. Periodo vs Tiempo
Fuente: Elaboración propia.

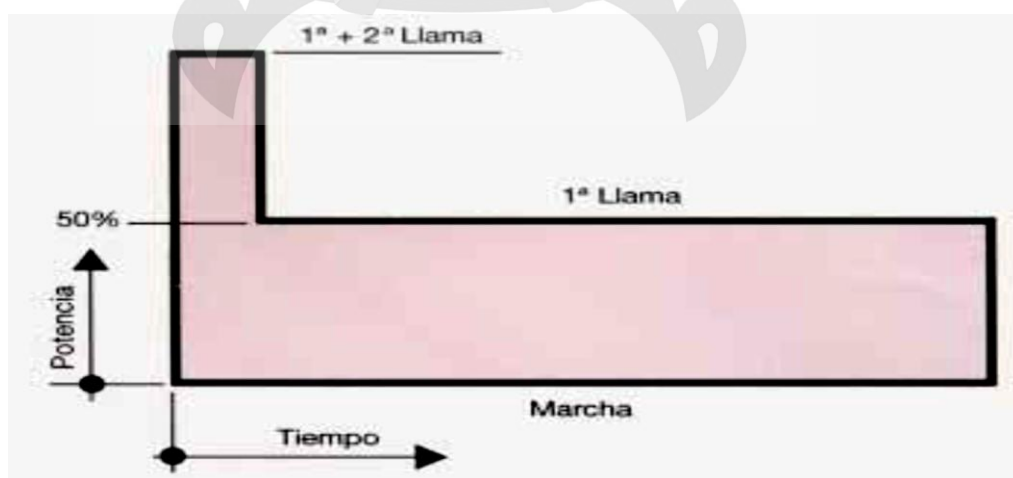


Figura 5.16. Potencia vs Tiempo
Fuente: Elaboración propia.



En conclusión podemos afirmar que mediante las correcciones anteriormente mencionadas ahorramos un 50% de combustible con igual producción de vapor siempre y cuando se condicione su funcionamiento a las diferentes estaciones del año.

Los consumos de combustible excedentes normalmente se dan cuando el caldero funciona con igual carga todo el año por lo que deberemos racionalizar la carga según las necesidades o requerimientos de usos y esto dependerá de un buen sistema de control.





CAPÍTULO VII

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS



- ✓ En los años 20, no existía ningún criterio a la hora de diseñar calderas y recipientes a presión. Ocurrian explosiones por causas desconocidas. Fue entonces cuando en esta misma década la American Society of the Metal and Electricity (ASME) comenzó a crear códigos para utilizar en el diseño y control de los recipientes que fuesen a trabajar a presión.
- ✓ La ASME VIII Div. 1, Es la parte encargada de diseño, tiene distintas partes que comprenden cálculo de espesores, cálculo de aberturas, conexiones, etc.
- ✓ Esta norma para diseño de calderas y recipientes a presión es utilizada a nivel mundial, aunque existe otras normas como: Norma alemana (AD-Merkblätter), Diseño de calderas según normativa española UNE 9-300.
- ✓ Es necesario verificar que la empresa oferente de este tipo de equipos este certificada en cuanto a calidad, lo que implica que dicho fabricante usa alguna de estas normas para la fabricación y montaje.
- ✓ La eficiencia de los calderos disminuye como consecuencia de la altitud y la falta de oxígeno para una combustión completa.
- ✓ Los cálculos que hemos realizado nos permiten observar que la utilización de combustibles diferentes para los procesos de combustión optimiza el funcionamiento de las calderas.
- ✓ Los cálculos determinan el uso de los calderos pirotubulares para épocas de verano y de invierno con las consideraciones dadas en el capítulo anterior.
- ✓ La proyección del uso de los calderos en altura con las modificaciones en el uso de combustibles y equipos auxiliares (accesorios) permite su uso con eficiencias relativamente iguales a los calderos que trabajan a nivel del mar.
- ✓ Es conveniente realizar el cálculo de eficiencia y consumo para los calderos que serán utilizados en altura.
- ✓ No es necesaria una reconstrucción para mejorar la optimización de los calderos por los considerandos expuestos en el cálculo.

CONCLUSIONES

1. Los calderos que trabajan en altura sufren una disminución de su eficiencia y potencia con un consecuente aumento de combustible.
2. Se deben realizar modificaciones en lo referente al uso de combustibles variados para mejorar la eficiencia en altura.
3. Los calderos deben programarse para épocas en las cuales su uso no será requerido al máximo de su rendimiento y cuando trabajen al máximo de su potencia.
4. El proyecto de investigación ha cumplido con los objetivos propuestos en función de la aplicación y uso de calderos en altura.
5. Se debe poner especial énfasis en la protección del caldero contra la corrosión pues incrementa el consumo de combustible.
6. La mejor protección para una instalación es mantener el mismo tipo de agua en el circuito, sin tener que rellenarlo cada vez que sea necesario o que se ponga en funcionamiento.
7. Para evitar corrosión e incrustaciones indeseables se debe tener un tratamiento de agua más eficiente de los que actualmente operan en algunas empresas puneñas debido al carbonato de calcio (CaCO_3) en el agua del subsuelo de la región.
8. En todas las calderas de chapa de acero es necesario colocar un circulador anticondensación, para evitar la corrosión por condensaciones, y de esta forma prolongar el tiempo de duración y servicio de la caldera.
9. Finalmente debemos concluir que la caldera debe seleccionarse de acuerdo a las necesidades de la instalación. Sabemos que la elección de la potencia calorífica de la caldera cuando se va a utilizar para calefacción, se hace para unas condiciones mínimas de temperatura exterior, que en la práctica se dan en muy pocos días. Por tanto, en la mayoría del periodo invernal habrá un exceso de potencia en la caldera por lo que deberemos prever el uso de la máquina en diferentes periodos de requerimiento de vapor y consecuentemente optimizaremos su funcionamiento y vida útil.
10. Como se puede notar en el Capítulo VI comparando el uso de una caldera corregida con una que trabaja a nivel del mar el ahorra se demuestra que equivale a 50% del consumo de combustible y la producción de energía.



RECOMENDACIONES

- Recomendamos que este estudio, se utilice como material de consulta, para su posible complementación por estudiantes y profesionales así como docentes de la Carrera y afines.
- La selección y uso de las calderas deberá estar en función de la designación de las mismas y el régimen de trabajo que deberán soportar.
- El uso de los equipos auxiliares para calderas debe centrarse en la optimización del funcionamiento de las mismas.
- El trabajo de la máquina debe estar supeditado a la observancia de las normas de funcionamiento y sus respectivos manuales de operación y mantenimiento.
- Se recomienda a los estudiantes de esta casa de estudios y profesionales a seguir realizando este diseño, variando este diseño de la caldera pirotubular con combustible a gas, para así poder mejorando cada vez más la eficiencia de las calderas pirotubulares a altitudes superiores a 3800 m.s.n.m.

LIMITANTES

- La limitante principal es la falta de bibliografía para el estudio de las calderas a altitudes superiores a 3800 msnm.
- La poca difusión de la información de fábricas de calderas para poder calcular y operacionalizar las variables de trabajo.
- La falta de laboratorios en el ámbito regional no nos han permitido un estudio más profundo de los componentes, materiales y sistemas de calderas.

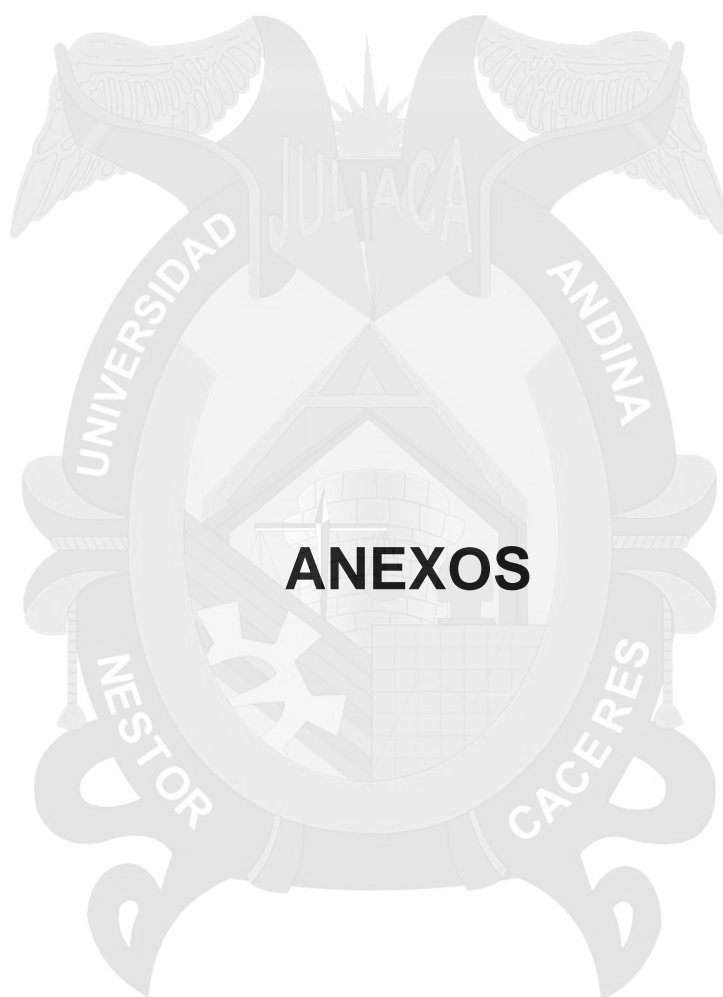


BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

- Ing. Ángel Vargas Zúñiga, "Calderas Industriales y Marinas", Editorial Series VZ, Ecuador, Segunda Edición, 1996.
- Anthony Lawrence Kohan. Manual de calderas. / Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas.
- NORMA TÉCNICA NTP 350.301 PERUANA 2009 Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú
- Incropera Frank P. y De Witt David P., "Fundamentos de Transferencia de Calor", Prentice Hall, México, Cuarta Edición, 1999.
- Manual de Operación y mantenimiento. Calderas fabricadas por DISTRAL S.A. para ECOPETROL, Unidad de Balance Barrancabermeja. Serie A-2212. Tomo I.
- Manual de Operación de calderas B-2951/55 de Unidad de Balance. Grupo III de la Superintendencia de Operaciones III. ECOPETROL - Complejo Industrial de Barrancabermeja, 1987. 159 p.
- ALVAREZ CORREA, JAIME ANDRES. "Aplicaciones termográficas en calderas. ECOPETROL, Complejo Industrial. Grupo de Inspección de Equipos, 1994.
- CARREÑO, JUSTO. "Mantenimiento programado de B-2951-4. Grupo III Servicios Industriales. Barrancabermeja, 1994.

BIBLIOTECA (FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS)

- Fundamentos de termodinámica. Van, Vyley.
- Transferencia de calor. Holam, JP. 1998
- Diseño de elementos de máquinas. Faires.
- Manual del ingeniero mecánico. Avallone, Eugene A.
- Termodinámica para ingeniería con transferencia de calor. L. Harderman, William.



ANEXO N°1

CUADRO COMPARATIVO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA A NIVEL DEL MAR Y EN LA ALTURA.

Tipo de caldero: **C. PIROTUBULAR 15BHP**

N°	ALTITUD h	PARÁMETRO DE MEDICIÓN			
	m.s.n.m	GRAMOS O2 por m3 de aire	PC kcal/m3 a 0°C	Eficiencia CA %	Eficiencia CB %
1	0	297	890	83	83.0
2	1000	241	760	-	74.7
3	2000	227	670	-	66.4
4	3000	192	600	.	58.1
5	3800	170	550	.	36.0

Leyenda

- h altitud
PC Poder Calorífico
CA caldera a nivel del mar
CB caldera sin modificar en altura

Cuadro comparativo de funcionamiento de una caldera a nivel del mar y en la altura.

Fuente: Elaboración propia.

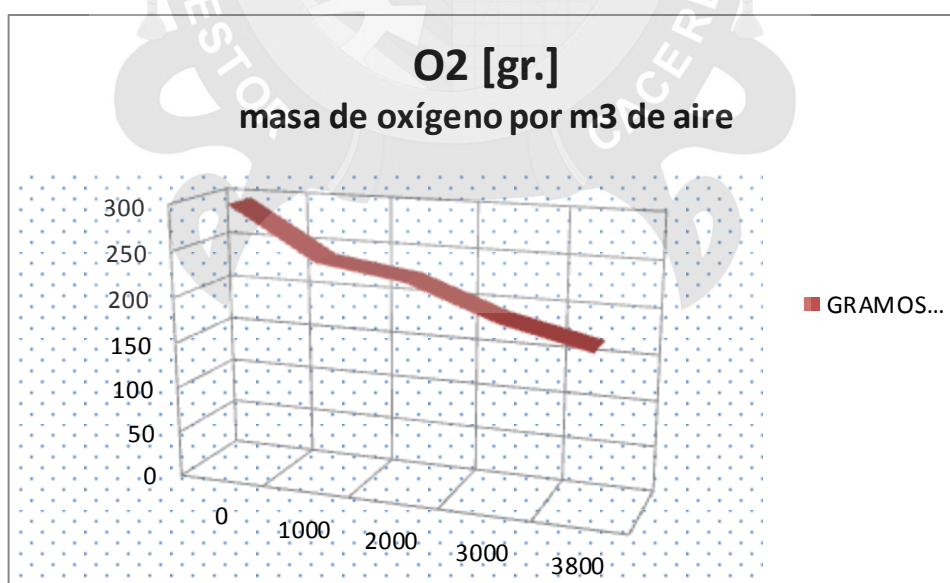
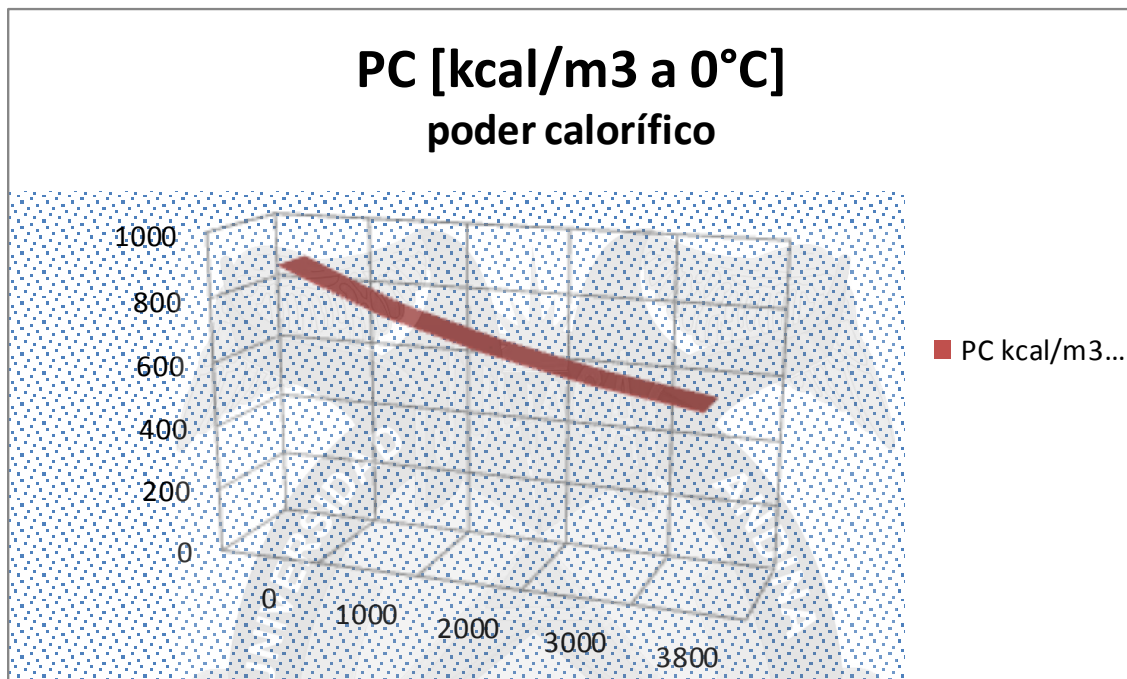


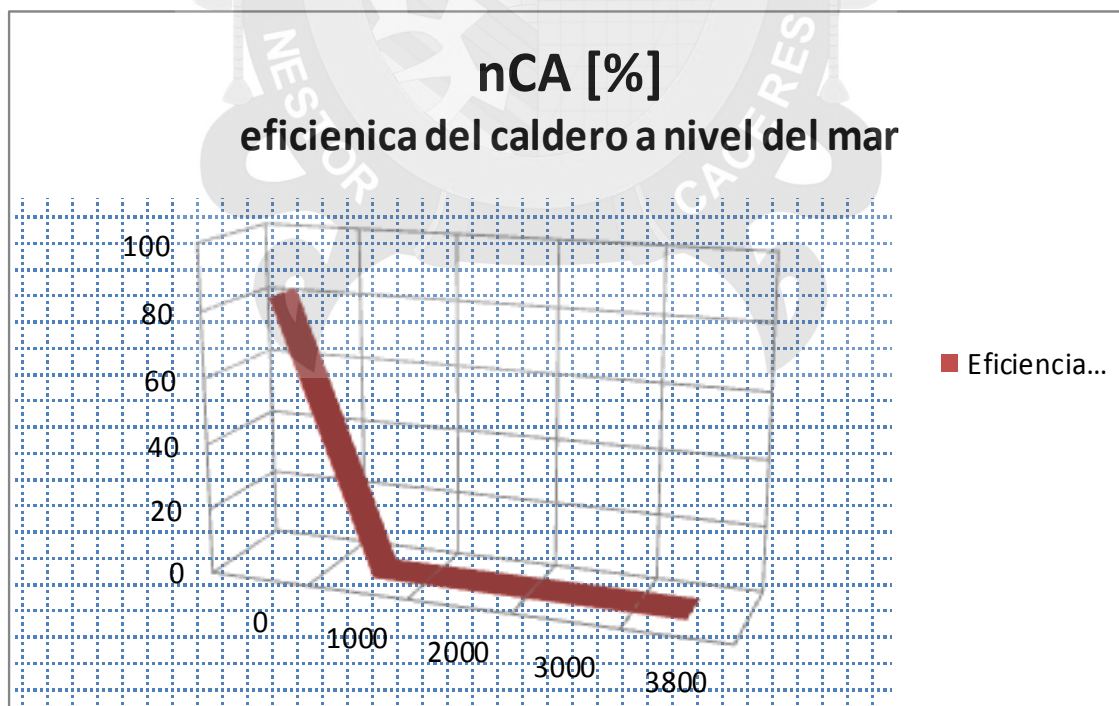
Diagrama. Masa de oxígeno por m3 de aire

Fuente: Elaboración propia.

Como se nota la cantidad de oxígeno por volumen de aire disminuye a medida que se incrementa la altitud obligando a un mayor consumo de combustible para compensar el poder calorífico total del caldero.



*Poder calorífico en decremento a medida que aumenta la altitud.
Fuente: Elaboración propia.*



*Eficiencia del caldero a nivel del mar.
Fuente: Elaboración propia.*

Nota.- no se ha considerado otros valores por cuestión de comparación con el mismo caldero en diferentes altitudes que se muestra en el siguiente cuadro.

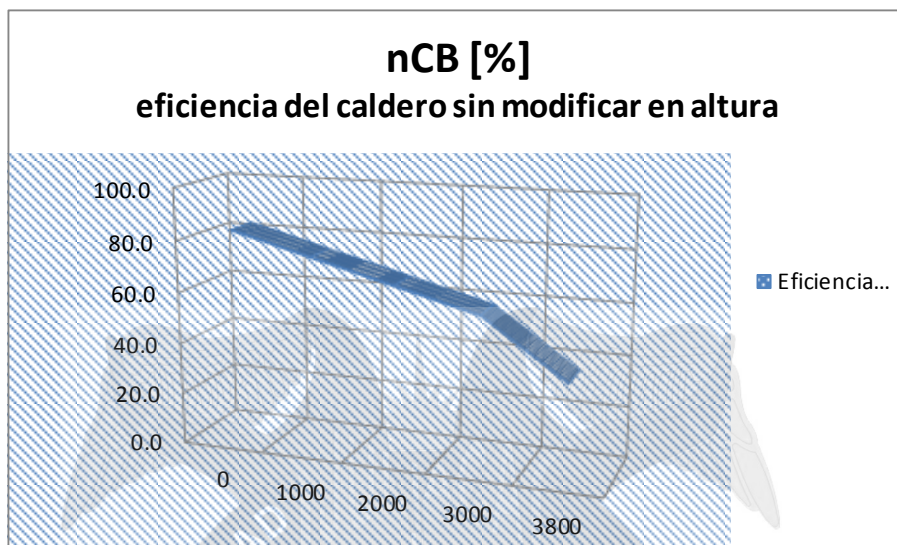


Diagrama: Eficiencia del caldero sin modificar en altura.

Fuente: Elaboración propia.

Eficiencia del caldero en estudio con decremento significativo de su eficiencia a altitudes superiores a 3500 m.s.n.m. sin las correcciones que se proponen en el presente trabajo de investigación.

CUADRO COMPARATIVO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA EN LA ALTURA, SIN MODIFICAR Y MODIFICADA

Tipo de caldero: C. PIROTUBULAR 15BHP

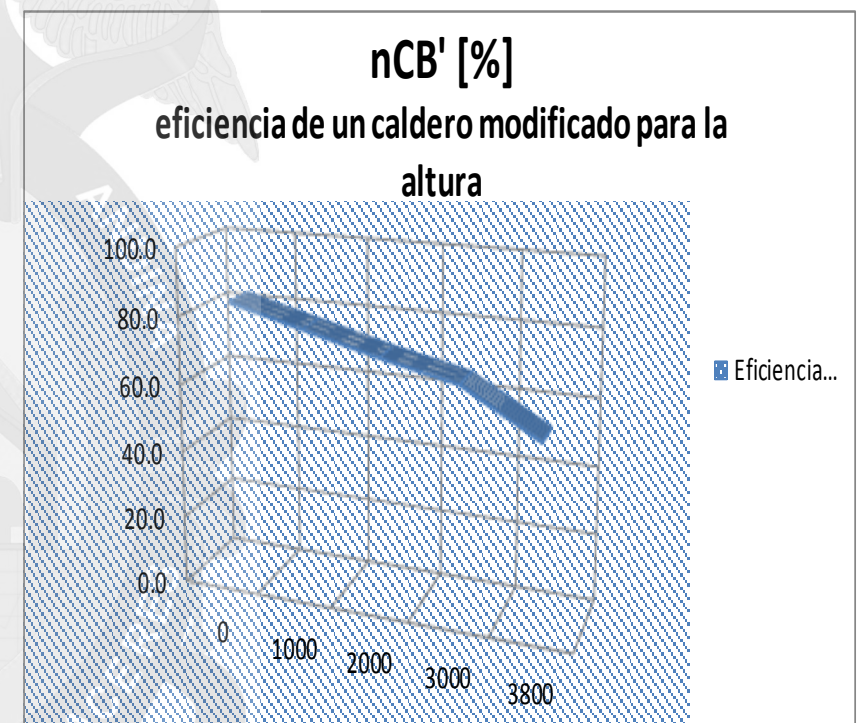
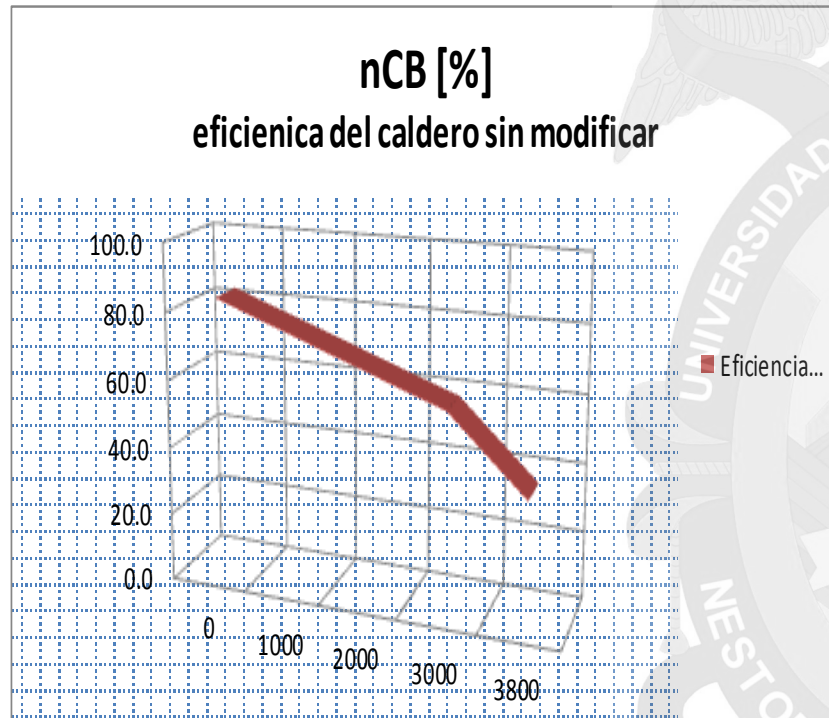
N°	ALTITUD	PARÁMETRO DE MEDICIÓN			
	h m.s.n.m	GRAMOS O ₂ por m ³ de aire	PC kcal/m ³ a 0°C	Eficiencia CB %	Eficiencia CB' %
1	0	297	890	83.0	83.0
2	1000	241	760	74.7	77.2
3	2000	227	670	66.4	71.4
4	3000	192	600	58.1	66.4
5	3800	170	550	36.0	53.1

Leyenda

- h** altitud
- PC** Poder Calorífico
- CA** caldera a nivel del mar
- CB** caldera en diferentes altitudes sin modificar
- CB'** caldera modificada para trabajos en altura

Cuadro comparativo de funcionamiento de una caldera en la altura, sin modificar y modificada.
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO COMPARATIVO DE EFICIENCIAS SIN MODIFICACIÓN Y CON MODIFICACIÓN DEL DISEÑO



COMO SE NOTA DE LOS GRÁFICOS LA EFICIENCIA NO ES TAN ACENTUADA CON LAS CORRECCIONES DE DISEÑO QUE SE PLANTEAN EN EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

**CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DEL CALDERO PIROTUBULAR DE 15 BHP**

QUEMADOR: Dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos (excepcionalmente también sólido) y producir calor generalmente mediante una llama.

Marca BECKETT	Modelo CF-2300A	Combustible D2
Tubo de combinación de aire		
Marca BECKETT	Modelo: CF136KG	Dimensiones: Ø6.1/2" * 13.3/4"
Brida		
Modelo KIT N°51313	Dimension: Ø12.1/2"	
Actuador Damper (Modutrol) (32338)		
Marca: BECKETT	Modelo: SQN70.203R10BK	Características: 110v/60Hz/6VA.
Contactador Ventilador		
Marca: HONEYWELL	Modelo: 129384A	
Motor		
Marca: EMERSON	Modelo: C55BXFFT-3002	Nº Serie LR63596
Datos: 0.75HP/208-230V/60Hz/10.4-5.2/14.0-7.0A/3Ø/3450RPM		

Bomba de Petróleo:			
Marca: SUNTEC	Modelo: B2TA-8852	Características: 23 GPH / 300PSI / 3450 RPM	
Transformador de Ignición:			
Marca: ALLANSON	Tipo: 656	Volt. Primario: 220v	Volt. Secund.: 12000V.
Valvulas Solenoides (Oil)			
Marca: COMBUC	Modelo: E7-ITALY	Cantidad: 2	Características: 300 PSI/120V/60Hz/9w
Temporizador			
Marca: INFITEC	Datos: QMSC514 0531 / ES1160-A		Características: 120 VAC / 4 Sec. / 1A

ELECTROBOMBA DE AGUA: Máquina que tiene como función impulsar el agua y vencer la presión producido por la caldera. Su mecanismo es sencillo, dentro de ella, se produce un vacío que permite succionar el agua de una fuente



o suministro para luego impulsarla.

BOMBA: BURKS PUMPS	Modelo: 320CS6M-FE	Nº de Serie: C1210618-0506
SUCCIÓN: 1.1/4"Ø	DESCARGA: 1"Ø	
Motor: FRANKLIN ELCTRIC	Modelo: 1303162103	nº de Serie: 9810CS
Datos: 208-230V/2HP/3450RPM/60Hz/3Ø/7-3.5A		

INGRESO DE AGUA

1 Válvula Bola 1"Ø 600WOG APOLLO CONBRACO
2 Válvula Check Piston C/Resorte 1"Ø200 WSP-400 WOG UNITED BRASS

CONTROL DE NIVEL DE AGUA: El controlador recibe desde la sonda la señal del nivel de agua. Ésta es comparada con el set point en el controlador para producir una señal relacionada con el error. Dependiendo de la polaridad (+ o -) de la señal de error, uno o otro de los relés del controlador son energizados para abrir o cerrar la válvula modulador de agua de alimentación.

Marca: McDONNELL & MILLER	Presión: 150 psi	Modelo: 1578	Conexión: 1" Ø
3 Tri-Cock Conexión 1/2 150 PSI			
Juego de Nivel			
Marca: CONBRACO Modelo: 20-205-00 2 Grifos Conexión 1/2" 1 tubo Pirex Línea Roja DURAN, medida Ø1/8"*10""Long.			

CONTROL AUXILIAR DE NIVEL DE AGUA

1 Bujía WARRICK
1 Varilla de Acero Inoxidable de 1/4"Ø*36cm

PURGAS:

Purga de Controles: 1 Válvula Bola 1/4"Ø APOLLO CONBRACO 600WOG
Purga de Control de Nivel: 1 Válvula Bola 1"ØAPOLLO CONBRACO 600WOG
Purga de Superficie: 1 Válvula Bola 1"Ø APOLLO CONBRACO 600 WOG
Purga de Fondo: 2 Válvulas Bola 1.1/2"Ø APOLLO CONBRACO 600WOG 1 Válvula "Y" Purga Lenta 1.1/2"Ø 200WSP 400WOG UNITED BRASS WORKS

CONTROL DE PRESIÓN



1 Presostato HONEYWELL 10-150PSI L404A 1396 (Límite de Presión)
1 Presostato HONEYWELL 10-150PSI L404C 1162 (Sobre Presión)
1 Presostato HONEYWELL 10-150PSI L404A 1396 (Sistema Modulación)
1 Nanómetro 0-200psi Dial: Ø4" Conexión de 1/2 CIMPA
1 Válvula Bola 174 Ø 600 WOG APOLLO CONBRACO

SALIDA DE VAPOR

Accesorio: Válvula Globo Angular	Tipo: PN32	Conexión: 2"	Marca: PEGLER
--	---------------	-----------------	------------------

VALVULA DE SEGURIDAD: Las válvulas de alivio de presión, también llamadas válvulas de seguridad o válvulas de alivio, están diseñadas para aliviar la presión cuando un fluido supera un límite preestablecido (presión de tarado). Su misión es evitar la explosión del sistema protegido o el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión. Existen también las válvulas que alivian la presión de un fluido cuando la temperatura (y por lo tanto, la presión) supera un límite establecido.

Marca: KUNKLE VALVE	Modelo: 6010EEM01-AM	Presión: 125 PSI	Capacidad: 2191 Lbs/Hr
------------------------	-------------------------	---------------------	---------------------------

MIRILLA POSTERIOR

Dimensión: 1.1/2"Øx1/4" Esp.

Tubos de Caldero

Dimensiones: * Ø2"x40.3/16" (24) 2do Pase * Ø2"x48" (12) 3er Pase	Material: ASTM A 192	Cantidad: 36
--	-------------------------	-----------------

Empaquetadura de Registro de Mano

Dimensiones: 3.1/2"x4.1/2" x 1/2" Esp.	Marca: TOPOG-E	Cantidad: 3
---	-------------------	-------------

TABLERO ELÉCTRICO DE LA CALDERA: Es uno de los componentes principales de una instalación eléctrica, en él se protegen cada uno de los distintos circuitos en los que se divide la instalación a través de fusibles, protecciones magnetotérmicas y diferenciales.

Tablero metálico: ATLANTIC55 legrand IP55-9NFC20			
Dimensiones: 600x400x250mm			
Descripción	Marca	Modelo	Características
Bomba de Agua			
Llave Termomagnetica	CHINT	NB1-63 C32	400V/32A/3Ø



Contactor	CHINT	NC1-1210	220V/12A/3Ø
Relay	CHINT	NR2-25	Rango: 5.5-8ª
Vetilador del Quemador			
Llave Termomagnetica	CHINT	NB1-63 C20	400V/20A/3Ø
Mando			
Llave Termomagnetica	CHINT	NB1-63 C20	400V/20A/1Ø
Sobre Presión			
Relay Encapsulado	STRONGER	MK 2P-1	250V AC-10A (8P)
Alarma			
Marca: GEMS SENSOR INC	Modelo: MS-190	Cantidad: 1 Unid.	Características: AC220V/60Hz
Lámparas			
Marca: STRONGER	Modelo: AD22-22DS	Cantidad: 6Unid.	Caracteísticas: ACC220V/20Ma
Llaves Selectoras			
Marca: CHNZE	Modelo: ZB2-BE101	Cantidad: 2Unid.	Características: 400V/10A/60Hz (3P-2P)

ANEXO N°2

PRUEBAS HIDRÁULICAS. GENERALIDADES

El establecimiento que emplee aparatos sometidos a presión interna, deberá colocar en los lugares afectados, instrucciones escritas de maniobra y esquemas gráficos de instalación de cada equipo.

Se entiende como aparato sometido a presión interna, a todo recipiente cerrado (Caldera, Caldereta, Calentador, Horno, etc.), que pueda generar en su interior una presión mayor que la atmosférica y a todo equipo (Compresor, tubos de gases comprimidos, etc.), que permita comprimir y acumular en su interior, un fluido también a una presión mayor que la atmosférica.

De acuerdo a las prescripciones, los esquemas gráficos de instalación, deberán indicar en forma bien visible los dispositivos de seguridad y el detalle de maniobras especificará tres condiciones:

- a. Detallar las maniobras correctas de operación.
- b. Detallar prohibiendo todas aquellas maniobras que no deben efectuarse.
- c. Detallar indicando especialmente que se debe realizar en caso de riesgo o avería.

Dichas instrucciones deben ser concordantes con las estipuladas por el fabricante del aparato o lo que al respecto señale la autoridad competente. Todas las personas encargadas del manejo de los aparatos deberán cumplir con los requisitos previstos y deberán ser instruidos previamente a la toma de servicio por el establecimiento.

El Decreto N° 351/79, especifica en su Art. 140 que: "Las calderas, ya sean de encendido manual o automático, serán controladas e inspeccionadas totalmente por lo menos una vez al año por la empresa constructora o instaladora y, en ausencia de estas, por otra especializada, la que extenderá la correspondiente certificación, la cual se mantendrá en un lugar bien visible.

Cuando el combustible empleado sea carbón o leña, no se usarán líquidos inflamables o materias que puedan causar explosiones o retrocesos de llamas. Iguales condiciones se seguirán en las calderas en las que se empleen petróleo, sus derivados o gases combustibles.

Los reguladores de tiro se abrirán lo suficiente para producir una ligera corriente de aire que evite el retroceso de las llamas. Siempre que el encendido no sea automático se efectuara con dispositivo apropiado. Cuando entre vapor en las



tuberías y en las conexiones frías, las válvulas se abrirán lentamente hasta que los elementos alcancen la temperatura prevista. Igual procedimiento deberá seguirse cuando deba ingresar agua fría a tuberías y conexiones calientes.

Cuando la presión de la caldera se aproxime a la presión de trabajo, la válvula de seguridad se probará a mano. Durante el funcionamiento de la caldera, se controlará repetida y periódicamente durante la jornada de trabajo el nivel de agua en el indicador, purgándose las columnas respectivas a fin de comprobar que todas las conexiones estén libres.

Las válvulas de desagües de las calderas se abrirán completamente cada 24 horas y si es posible en cada turno de trabajo. En caso de ebullición violenta del agua de las calderas, la válvula se cerrará inmediatamente y se detendrá el fuego, quedando retirada del servicio la caldera hasta que se comprueben y corrijan sus condiciones de funcionamiento. Una vez reducida la presión de vapor, se dejarán enfriar las calderas durante un mínimo de 8 horas.

Las calderas de vapor deberán tener, independientemente de su presión de trabajo, válvulas de seguridad y resostatos, las cuales al llegar a valores prefijados deberán interrumpir el suministro de combustible al quemador. Las calderas cuya finalidad sea la producción de agua caliente, independientemente de los valores de temperatura de trabajo, deberán poseer acuastato, los que interrumpirán el suministro de combustible al quemador, cuando la temperatura del agua alcance ciertos valores prefijados.

Cuando las calderas usen como combustible gas natural o envasado, deberán poseer antes del quemador dos válvulas solenoides de corte de gas. Las mismas deberán ser desarmadas y limpiadas cada seis meses, desmagnetizando el vástago del solenoide.

Las válvulas solenoides, los presostatos, acuastatos y válvulas de seguridad que se usen deberán integrar en serie el circuito de seguridad, el cual estará aislado térmicamente de la caldera. Este circuito deberá probarse todos los días.

Cuando la combustión en el quemador se inicie con un piloto, este deberá tener termocupla que accione la válvula de paso de gas del propio piloto y las válvulas solenoides, de manera tal que al apagarse el piloto por acción de esta termocupla se interrumpa todo suministro de gas al quemador de la caldera."

PRUEBA HIDRÁULICA DE CALDERAS



Tiene por finalidad comprobar si la caldera puede resistir satisfactoriamente la presión de trabajo, observándose que no existan pérdidas, fisuras ni deformaciones permanentes.

Las pruebas hidráulicas son exigidas anualmente por las reparticiones encargadas de habilitarlas y siempre se realizan cuando se adquiere la caldera (como prueba de recepción) y cuando se llevan a cabo tareas de reparación.

Para efectuarla, la caldera se debe encontrar fría, totalmente llena de agua y bridadas ciegamente o taponadas, todas las conexiones al exterior.

Se debe aumentar lentamente la presión de la caldera inyectándose agua por medio de una bomba manual (se recomienda no aumentar la presión en más de 4 Kg/cm² por minuto) hasta alcanzar una vez y media la presión de trabajo (1,5 veces la presión de trabajo), así por ejemplo, si la caldera trabaja a 6 Kg/cm², se probará hidráulicamente a 9 Kg/cm².

Se abrirán las cajas de humos y todo otro acceso al interior de la caldera a fin de realizar la inspección ocular.

Concluido el ensayo, se disminuirá la presión lentamente y se procederá al armado para la puesta en marcha.

VERIFICACIÓN DE LOS ACCESORIOS

- **MANÓMETRO:** Se controlará su buen funcionamiento y calibración mediante un manómetro patrón.
- **NIVELES:** Deberán limpiarse o cambiarse.
- **VÁLVULAS DE SEGURIDAD:** Se procederá al desarmado, limpieza, esmerilado de los asientos y calibración.
- **VÁLVULAS DE RETENCIÓN:** Se controlará su buen funcionamiento.
- **BOMBA DE AGUA:** Se verificará con manómetro patrón que la presión del agua impulsada sea superior a la de trabajo de la caldera.
- **TAPÓN FUSIBLE:** Será verificado el metal interior, que no existan pérdidas o deposiciones de sarro. No se aconseja su relleno.
- **VÁLVULAS EXCLUSAS Y ESFÉRICAS:** Se controlará su apertura y cierre hermético,
- **AUTOMÁTICOS DE NIVEL:** Verificaciones periódicas del estado de los electrodos y la ampolla de mercurio.



INCRUSTACIONES

Son los depósitos sobre las paredes de la caldera de sales que se encuentran disueltas en el agua, conocidas vulgarmente como sarro.

Fundamentalmente, son sales de calcio y magnesio que, por efecto de la ebullición del agua, precipitan y se adhieren a las paredes de la caldera.

Las incrustaciones depositadas en las paredes internas de la caldera son perjudiciales por cuanto:

- a. Disminuyen el rendimiento de la caldera, porque hacen de pared aislante a la transmisión del calor, por lo que ocasiona mayor consumo de combustible.
- b. Son altamente peligrosas, por cuanto pueden producir recalentamientos a la superficie metálica, que por un lado se encuentra en contacto con el fuego y por el otro lado, NO se encuentra en contacto con el agua.

Por otra parte, ese calentamiento puede producir un desprendimiento de la "cáscara" de sarro, poniendo en contacto violentamente el metal recalentado con el agua, produciéndose un fenómeno de ebullición instantánea localizada y generando un aumento instantáneo de presión en esa zona que puede producir una rotura y hasta una explosión.

La forma de impedir que se produzcan incrustaciones es alimentando la caldera con agua libre de sales o tratando de impedir su adherencia a las paredes.

Los métodos más conocidos son:

- a. Equipos de ablandamiento: Tratan el agua, antes de que ésta ingrese a la caldera, por medio de resinas dispuestas en 3 torres; son las encargadas de capturar los aniones y los cationes de las sales, por lo que se obtiene agua desionizada. Su colocación y mantenimiento es costoso.
- b. Aditivos Químicos: Tienen por objeto precipitar las sales al fondo de la caldera en forma de barro; se mezclan al agua de alimentación en el tanque intermediario. Actualmente se construyen calderas con bombas dosificadoras de productos químicos.
- c. Desalinizadores magnéticos: Estos equipos novedosos y eficaces trabajan con imanes permanentes o electroimanes, cambiándoles la estructura cristalina a las sales de tal forma que no tengan poder de adherencia a las paredes y precipiten al fondo. Actúan también sobre las incrustaciones ya depositadas, desprendiéndolas gradualmente de las paredes, Son económicos y no necesitan mantenimiento.

CORROSIONES

Es el ataque a las paredes metálicas de la caldera por el oxígeno o agentes químicos, produciendo debilitamiento de los espesores originales y disminuyendo su vida útil.

- a. La corrosión en la caldera puede ser:
- b. Corrosión externa: Es la producida en los tubos y caja de humos porque algunos combustibles líquidos traen una considerable cantidad de azufre, que se deposita en el hollín. Al enfriarse la caldera se combina con la humedad, formando microgotas de ácido sulfúrico que atacan el metal.
- c. Corrosión interna: Se debe fundamentalmente al oxígeno disuelto en el agua o eventualmente al ácido carbónico del agua de recuperación que atacan la superficie del metal produciendo picaduras. Se combate agregando al agua sustancias antioxidantes o desaereando el agua de alimentación.

EL FACTOR DEL pH

Otro factor a tener en cuenta es el pH, que indica desde los límites 0 a 14, siendo el valor 7 neutro, la acidez o alcalinidad del agua de alimentación o de la caldera, ya que el tratamiento para la eliminación de dureza modifica básicamente el contenido de sólidos totales y la alcalinidad. Se recomienda que el agua se mantenga siempre alcalina, tendiendo a un valor $\text{pH} = 9,5$.

PURGAS DE FONDO

Hemos dicho que los sólidos en las calderas precipitan por la acción del tratamiento del agua. La manera de sacarlos al exterior es por medio de las purgas de fondo, La cañería de purga debe tener una válvula exclusiva y otra válvula esférica de apertura rápida.

En el trabajo de purgar la caldera, el operador debe abrir primero la válvula globo y después accionar la apertura de la válvula esférica violentamente, para que se produzca el efecto de arrastre.

El tiempo de duración de la purga y la frecuencia de intervalos estará dada por el tratamiento de agua que se realice.

Actualmente se fabrican purgas automáticas de accionamiento mecánico que conectadas a un temporizador producen la apertura de la válvula, según se programe.



PURGAS DE SUPERFICIE

Las sustancias grasas en el agua de la caldera tienen un doble efecto pernicioso porque aumentan la tensión superficial en forma enorme, interfiriendo con la liberación de vapor desde el espejo de agua y contribuyendo materialmente a provocar arrastres y puede producir recalentamientos locales muy pronunciados.

Con las purgas de superficie se eliminan del espejo de agua, espumas, grasas o aceites provenientes generalmente de la contaminación del condensado proveniente de procesos de fabricación.



ANEXO N°3

Jurisdicción	Calderas de alta presión	Calderas de baja presión
Condados y ciudades de Estados Unidos		
Buffalo, N.Y.	X	—
Chicago, Ill.	X	—
Dearborn, Mich.	X	X
Denver, Colo.	X	X
Des Moines, Iowa	X	X
Detroit, Mich.	X	X
F. San Luis, Ill.	X	X
Kansas City, Mo.	X	X
Los Angeles, Calif.	X	X
Memphis, Tenn.	X	X
Miami, Fla.	X	X
Milwaukee, Wis.	X	X
Nueva Orleans, La.	X	X
Nueva York, N. Y.	X	—
Oklahoma City, Okla.	X	X
Omaha, Neb.	X	X
San José, Mo.	X	X
San Luis, Mo.	X	X
San José, Calif.	X	—
Spokane, Wash.	X	X
Tacoma, Wash.	X	X
Tampa, Fla.	X	X
Tulsa, Okla.	X	X
University City, Mo.	X	X
White Plains, N.Y.	X	—
Jefferson Parish, La.	X	X
St. Louis Co., Mo.	X	X
Estados		
Alaska	X	X
Arkansas	X	X
Columbia	X	X
Massachusetts	X	—
Minnesota	X	X
Montana	X	X
Nebraska	—	X
New Jersey	X	X
Ohio	X	X
Pennsylvania	X	X
Provincias de Canadá		
Alberta	X	X
Columbia británica	X	X
Manitoba	X	X
New Brunswick	X	X
Newfoundland and Labrador	X	X
N.W. Territory	X	X
Nova Scotia	X	—
Ontario	X	X
Quebec	X	X
Saskatchewan	X	X
Yukon	X	X

Nota: Debido a variaciones en las leyes, es necesario comprobar la jurisdicción para los requisitos específicos sobre operadores con licencias.

Figura A1. Jurisdicciones que tienen leyes operativas de licencias de ingeniería para calderas.



Tabla 1. Temperaturas de saturación

Temp. F	Pres. abs. psi (lb/pulg ²)	Vol. específico		Entalpía (calor total)		
		Liq. saturado	Vapor saturado	Calor saturado	Calor de evap.	Vapor saturado
32	0,08859	0,01602	3304,7	0,01	1075,5	1075,5
40	0,12170	0,01602	2444	8,05	1071,3	1079,3
50	0,17811	0,01603	1703,2	18,07	1065,6	1083,7
60	0,2563	0,01604	1206,7	28,06	1059,9	1088,0
70	0,3631	0,01606	867,9	38,04	1054,3	1092,3
80	0,5069	0,01608	633,1	43,02	1048,6	1096,6
90	0,6982	0,01610	468,0	57,99	1042,9	1100,9
100	0,9492	0,01613	350,4	67,97	1037,2	1105,2
110	1,2748	0,01617	265,4	77,94	1031,6	1109,5
120	1,6924	0,01620	203,27	87,92	1025,8	1113,7
130	2,225	0,01625	157,34	97,90	1020,0	1117,9
140	2,8898	0,01629	123,01	107,9	1014,1	1122,0
150	3,718	0,01634	97,07	117,9	1008,2	1126,1
160	4,741	0,01639	77,29	127,9	1002,3	1130,2
170	5,992	0,01645	62,06	137,9	996,3	1134,2
180	7,510	0,01651	50,23	147,9	990,2	1138,1
190	9,339	0,01657	40,96	157,9	984,1	1142,0
200	11,526	0,01663	33,64	168,0	977,9	1145,9
212	14,696	0,01672	26,80	180,0	970,4	1150,4
220	17,186	0,01677	23,15	188,1	965,2	1158,4
240	24,969	0,01692	16,323	208,3	952,2	1160,5
280	49,203	0,01726	8,645	249,1	924,7	1173,8
300	67,013	0,01745	6,466	269,6	910,1	1179,7
340	118,01	0,01787	3,788	311,1	879,0	1190,1
380	195,77	0,01836	2,335	353,5	844,6	1198,1
400	247,31	0,01864	1,8633	375,0	826,0	1201,0

Tabla 2. Vapor sobrecalentado

Pres. abs. psi (lb-pulg ²)	Temp. F	Vol. específico		Entalpía (calor total)		
		Liq. saturado	Vapor saturado	Calor saturado	Calor de evap.	Vapor saturado
0,50	79,58	0,01608	641,4	47,6	1048,8	1096,4
1,0	101,74	0,01614	333,6	69,7	1036,3	1106,0
5,0	162,24	0,01640	73,52	130,1	1001,0	1131,1
10	193,21	0,01659	38,42	161,2	982,1	1143,3
14,7	212,00	0,01672	26,80	180,0	970,4	1150,4
15	213,03	0,01672	26,29	181,1	969,7	1150,8
20	227,96	0,01683	20,089	196,2	960,1	1156,3
25	240,07	0,01692	16,303	208,5	952,1	1160,6
30	250,33	0,01701	13,746	218,8	945,3	1164,1
40	267,25	0,01715	10,498	236,0	933,7	1169,7
50	281,01	0,01727	8,515	250,1	924,0	1174,1
60	292,71	0,01738	7,175	262,1	915,5	1177,6
70	302,92	0,01748	6,206	272,6	907,9	1180,6
80	312,03	0,01757	5,472	282,0	901,1	1183,1
90	320,27	0,01766	4,896	290,6	894,7	1185,3
100	327,81	0,01774	4,432	298,4	888,8	1187,2
110	334,77	0,01782	4,049	305,7	883,2	1188,9
120	341,25	0,01789	3,728	312,4	877,9	1190,4
130	347,32	0,01796	3,455	318,8	872,9	1191,7
140	353,02	0,01802	3,220	324,8	868,2	1193,0
150	358,42	0,01809	3,015	330,5	863,6	1194,1
200	381,79	0,01839	2,288	355,4	843,0	1198,4
250	400,95	0,01865	1,8438	376,0	825,1	1201,1
300	417,33	0,01890	1,5433	393,8	809,0	1202,8
350	431,72	0,01913	1,3260	409,7	794,2	1203,9
400	444,59	0,0193	1,1613	424,0	780,5	1204,5

Tabla 3. Vapor sobrecalentado

Presión absoluta (lb pulg ²)	*	Líquido saturado	Vapor saturado	Temperatura, °F							
				300	400	500	600	700	800	900	1000
15	v	0,018	26,29	29,91	33,97	37,99	41,99	45,98	49,97	53,95	57,93
(213,03)	h	181,1	1150,8	1192,8	1239,9	1287,1	1334,8	1383,1	1432,3	1482,3	1533,1
20	v	0,016	20,09	22,36	25,43	28,46	31,47	34,47	37,46	40,45	43,44
(227,96)	h	196,2	1156,3	1191,6	1239,2	1286,6	1334,4	1382,9	1432,1	1482,1	1533,0
40	v	0,011	10,498	11,040	12,628	14,168	15,688	17,198	18,702	20,20	21,70
(267,25)	h	236,0	1169,7	1186,8	1236,5	1284,8	1333,1	1381,9	1431,3	1481,4	1532,4
60	v	0,017	7,175	7,259	8,357	9,403	10,427	11,441	12,449	13,452	14,454
(292,71)	h	262,1	1177,6	1181,6	1233,6	1283,0	1331,8	1380,9	1430,5	1480,8	1531,9
80	v	0,018	5,472	...	6,220	7,020	7,797	8,562	9,322	10,077	10,830
(312,03)	h	282,10	1183,1	1230,7	1281,1	1330,5	1379,9	1429,7	1480,1	1531,3	1581,3
100	v	0,018	4,432	...	4,937	5,589	6,218	6,835	7,446	8,052	8,656
(327,81)	h	298,4	1187,2	1227,6	1279,1	1329,1	1378,9	1428,9	1479,5	1530,8	1581,8
150	v	0,018	3,015	3,223	3,681	4,113	4,532	4,994	5,352	5,758	6,158
(358,42)	h	330,5	1194,1	1219,4	1274,1	1325,7	1376,3	1426,9	1477,8	1529,4	1580,4
200	v	0,018	2,288	2,361	2,726	3,060	3,380	3,693	4,002	4,309	4,613
(381,79)	h	355,4	1198,4	1210,3	1269,9	1322,1	1373,6	1424,8	1476,2	1528,0	1579,0
300	v	0,0189	1,5433	...	1,7675	2,005	2,227	2,442	2,652	2,859	3,063
(417,33)	h	393,8	1202,8	1257,6	1314,7	1368,3	1420,6	1472,8	1525,2	1577,2	1629,2
400	v	0,0193	1,1613	1,2851	1,4770	1,6508	1,8161	1,9767	2,134	2,291	2,448
(444,59)	h	424,0	1204,5	1245,1	1306,9	1362,7	1416,4	1469,4	1522,4	1575,4	1628,4
500	v	0,0197	0,9278	0,9927	1,1591	1,3044	1,4405	1,5715	1,6996	1,8277	1,9558
(467,01)	h	449,4	1204,4	1231,3	1298,6	1357,0	1412,1	1466,0	1519,6	1573,2	1626,8
600	v	0,0201	0,7698	0,7947	0,9463	1,0732	1,1899	1,3013	1,4096	1,5167	1,6238
(486,21)	h	471,6	1203,2	1215,7	1289,9	1351,1	1407,7	1462,5	1516,7	1571,1	1625,5
800	v	0,0209	0,5687	...	0,6779	0,7833	0,8763	0,9633	1,0470	1,1307	1,2144
(518,23)	h	509,7	1198,6	1270,7	1338,6	1398,6	1455,4	1511,0	1566,6	1622,2	1677,8
1000	v	0,0216	0,4458	0,5140	0,6084	0,6878	0,7604	0,8294	0,8984	0,9674	1,0364
(544,61)	h	542,4	1191,8	1248,8	1325,3	1389,2	1448,2	1505,1	1562,0	1618,9	1675,8
1200	v	0,0223	0,3619	0,4016	0,4909	0,5617	0,6250	0,6843	0,7436	0,8029	0,8622
(567,22)	h	571,7	1183,4	1223,5	1311,0	1379,3	1440,7	1502,1	1563,5	1624,9	1686,3
1400	v	0,0231	0,3012	0,3174	0,4062	0,4714	0,5281	0,5848	0,6415	0,6982	0,7549
(587,10)	h	598,7	1173,4	1193,0	1295,5	1369,1	1433,1	1497,1	1561,1	1625,1	1689,1

Figura A2. Relaciones de presión y temperatura del agua y vapor. Usamos la Tabla 1, para los datos basados en la temperatura, la Tabla 2, para los datos basados en la presión, y la Tabla 3, para los datos basados en el vapor sobrecalentado.



(a)

CÓDIGO DE SÍMBOLOS DE LOS SELLOS



A - Centro de calderas de potencia
B - Calderas miniatura
PP - Tubería de presión
S - Calderas de potencia



N - CERTIFICADOS TIPO Y/O CERTIFICADOS DE ACREDITACIÓN N, NA, NPT.



LIBROS DEL CÓDIGO REQUERIDOS



SECCIÓN III - Reglas para la construcción de plantas de energía nuclear

SECCIÓN I - Calderas de potencia

SECCIÓN II - Especificaciones de materiales

Parte A - Materiales ferrosos

Parte B - Materiales no ferrosos

SECCIÓN IV - Examen no destructivo

SECCIÓN IV - Soldadura y calificaciones de esfuerzo

B31.1 - Tubería de potencia



CÓDIGO DE SÍMBOLOS DE LOS SELLOS

H - Calderas de calefacción
HLW - Calentadores de agua potable revestidos



Subsección NB - componentes de la clase 1

Subsección NC - componentes de la clase 3

Subsección ND - componentes de la clase 3

Subsección NE - componentes de la clase MC

Subsección NF - componentes de soportes

Subsección NG - estructuras de soportes del núcleo

División 2: Códigos para vasija de reactor de hormigón y contenedores

SECCIÓN II - Especificaciones de materiales

Parte A - Materiales ferrosos

Parte B - Materiales no ferrosos

Parte C - Varillas de soldadura

SECCIÓN IV - Examen no destructivo

SECCIÓN IV - Soldadura y calificaciones de esfuerzo



CÓDIGO DE SÍMBOLOS DE LOS SELLOS

E - Calderas eléctricas

CÓDIGO DE SÍMBOLOS DE LOS SELLOS

SECCIÓN I - Calderas de potencia

SECCIÓN II - Especificaciones de materiales

Parte A - Materiales ferrosos

Parte C - Varillas de soldadura

Figura A3. (a) Sellos de código ASME aplicable a calderas y componentes nucleares. (b) Secciones de Libros del código de calderas requeridas por el código de sellos ASME.

Estado o provincia	Acepta informes de la compañía de seguros (X = si)	Necesaria inspección para		
		Calderas de alta presión	Calderas de baja presión	Recipientes a presión (no calderas)
(a) Estados Unidos				
Alaska	X	X	X	X
Alabama	—			
Arizona	X	X	X	—
Arkansas	X	X	X	X
California	X	X	—	X
Colorado	X	X	X	—
Connecticut	X	X	X	—
Delaware	X	X	X	X
Columbia	X	X	X	X
Florida	X	X	X	—
Georgia	X	X	X	X
Hawaii	X	X	X	X
Idaho	X	X	X	X
Illinois	X	X	X	X
Indiana	X	X	X	X
Iowa	X	X	X	X
Kansas	X	X	—	—
Kentucky	X	X	X	X
Louisiana	X	X	X	X
Maine	X	X	X	—
Maryland	X	X	X	X
Massachusetts	X	X	X	X
Michigan	X	X	X	—
Minnesota	X	X	X	X
Mississippi	X	X	X	X
Missouri	X	X	X	X
Montana	X	X	X	—
Nebraska	X	X	X	X
Nuevo México	Sin ley	—	—	—
Nevada	X	X	X	X
New Hampshire	X	X	X	X
New Jersey	X	X	X	X
New York	X	X	X	—
Carolina del Norte	X	X	X	X
Dakota del Norte	X	X	X	—
Ohio	X	X	X	—
Oklahoma	X	X	X	X
Oregon	X	X	X	X
Pennsylvania	X	X	X	X
Rhode Island	X	X	—	X
Carolina del Sur	Sin ley	—	—	—
Dakota del Sur	X	X	X	—
Tennessee	X	X	X	X
Texas	X	X	X	—
Utah	X	X	X	X
Vermont	X	X	X	X
Virginia	X	X	X	X
Washington	X	X	X	X
West Virginia	X	X	—	—
Wisconsin	X	X	X	X
Wyoming	Sin ley	—	—	—
(b) Canadá				
Alberta	No	X	X	X
Columbia británica	No	X	X	X
Manitoba	No	X	X	X
New Brunswick	No	X	X	X
Newfoundland	No	X	X	X
Northwest Territories	X	X	X	X
Nueva Escocia	X	X	No	X
Ontario	X	X	X	X
Quebec	X	X	X	X
Saskatchewan	No	X	X	X
Territorio Yukon	No	X	X	X
Tierra del Príncipe Eduardo	X	X	X	X

Figura A4 (a) Estados y (b) provincias canadienses que tienen leyes de re inspección de calderas y de recipientes de alta presión.

Ciudad o condado	Acepta informes de la compañía de seguros (X = si)	Calderas de alta presión	Calderas de baja presión	Recipientes a presión (no calderas)
Albuquerque, N. Mex.	X	X	X	—
Buffalo, N.Y.	X	X	X	—
Chicago, Ill.	No	X	X	—
Dearborn, Mich.	X	X	X	X
Denver, Colo.	No	X	X	X
Des Moines, Iowa	X	X	X	—
Detroit, Mich.	UPV sólo	X	X	X
E. St. Louis, Mich.	No	X	X	X
Greensboro, N.C.	X	X	X	X
Kansas City, Mo.	X	X	X	X
Los Angeles, Calif.	X	X	X	X
Memphis, Tenn.	X	X	X	X
Miami, Fla.	X	X	X	X
Milwaukee, Wisc.	X	X	X	X
New Orleans, La.	X	X	X	X
New York City, N.Y.	X	X	X	—
Oklahoma City, Okla.	X	X	X	—
Omaha, Neb.	X	X	X	—
Phoenix, Ariz.	X	X	X	X
St. Louis, Mo.	X	X	X	X
San Francisco, Calif.	X	X	X	X
San José, Calif.	X	X	X	—
Seattle, Wash.	X	X	X	X
Spokane, Wash.	X	X	X	X
Tacoma, Wash.	X	X	X	X
Tampa, Fla.	X	X	X	X
Tucson, Ariz.	X	X	X	X
Tulsa, Okla.	No	X	X	X
University City, Mo.	No	X	X	—
White Plains, N.Y.	X	X	X	—
Arlington County, Va.	X	X	X	—
Dade County, Fla.	X	X	X	X
Fairfax County, Va.	X	X	X	X
Jefferson Parish, La.	X	X	X	X
St. Louis County, Mo.	X	X	X	X

Figura A5. Ciudades o condados que tienen leyes de reinspección de calderas y de recipientes de alta presión, en los EEUU. No se tienen datos de otros países.

Tabla I. Cantidad de calor en kcal/h que pierde cada metro lineal de tubería

Tubería sin aislar																	
Temperatura media - temperatura ambiente																	
Ø	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
3/8"	10	15	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57	61	65	70	73
1/2"	12	17	21	26	31	36	41	46	51	55	60	65	70	75	80	85	89
3/4"	14	19	25	31	37	42	48	54	59	65	71	76	82	88	94	99	105
1"	16	23	29	36	42	49	56	62	69	75	82	89	95	102	109	115	122
1 1/4"	19	27	35	43	50	58	66	74	82	90	98	106	113	121	129	137	145
1 1/2"	21	30	38	47	56	65	73	82	91	99	108	117	126	134	143	152	161
2"	25	35	45	55	66	76	86	97	107	117	127	138	148	158	169	179	189
2 1/2"	30	43	56	68	81	94	107	119	132	145	158	170	183	195	208	221	233
57	26	37	48	59	70	81	92	103	114	124	135	146	157	168	179	190	201
64	28	40	52	64	76	88	99	111	123	135	147	159	170	182	194	206	218
70	30	43	56	68	81	94	107	119	132	145	158	170	183	195	208	221	233
82	35	49	64	78	93	107	122	136	151	165	180	195	209	224	238	253	267
94	39	56	72	88	105	121	137	154	170	186	203	219	235	252	268	284	301
106	43	61	79	97	115	134	152	170	188	206	224	242	260	278	296	314	332
119	48	68	87	107	127	147	167	187	207	227	246	266	286	306	326	346	366
131	52	74	96	117	139	161	182	204	226	247	269	291	313	334	356	378	399
143	56	80	103	126	150	173	197	220	243	267	290	314	337	360	384	407	430
156	61	86	111	136	161	187	212	237	262	288	313	338	363	389	414	439	464
Tubería aislada																	
Temperatura media - temperatura ambiente																	
Ø	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
3/8"	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15
1/2"	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
3/4"	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21
1"	3	5	6	7	8	10	11	12	14	15	16	18	19	20	22	23	24
1 1/4"	4	5	7	9	10	12	12	15	16	18	20	21	23	24	26	27	29
1 1/2"	4	6	8	9	11	13	14	15	18	20	22	23	25	27	29	30	32
2"	5	7	9	11	13	15	17	16	21	23	25	28	30	32	34	36	38
2 1/2"	6	9	11	14	16	19	21	24	26	29	31	34	37	39	42	44	47
57	5	7	10	12	14	16	18	21	23	25	27	29	31	34	36	38	40
64	6	8	10	13	15	18	20	22	25	27	29	32	34	36	39	41	44
70	6	9	11	14	16	19	21	24	26	29	31	34	37	39	42	44	47
82	7	10	13	16	19	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	53
94	8	11	14	18	21	24	27	31	34	37	41	44	47	50	54	57	60
106	9	12	16	19	23	27	30	34	38	41	45	48	52	56	59	63	66
119	10	14	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73
121	10	15	19	23	28	32	36	41	45	49	54	58	63	67	71	76	80
143	11	16	21	25	30	35	39	44	49	53	58	63	67	72	77	81	86
156	12	17	22	27	32	37	42	47	52	58	63	68	73	78	83	88	93

Figura A6. Ciudades o condados que tienen leyes de reinspección de calderas y de recipientes de alta presión, en los EEUU. No se tienen datos de otros países.

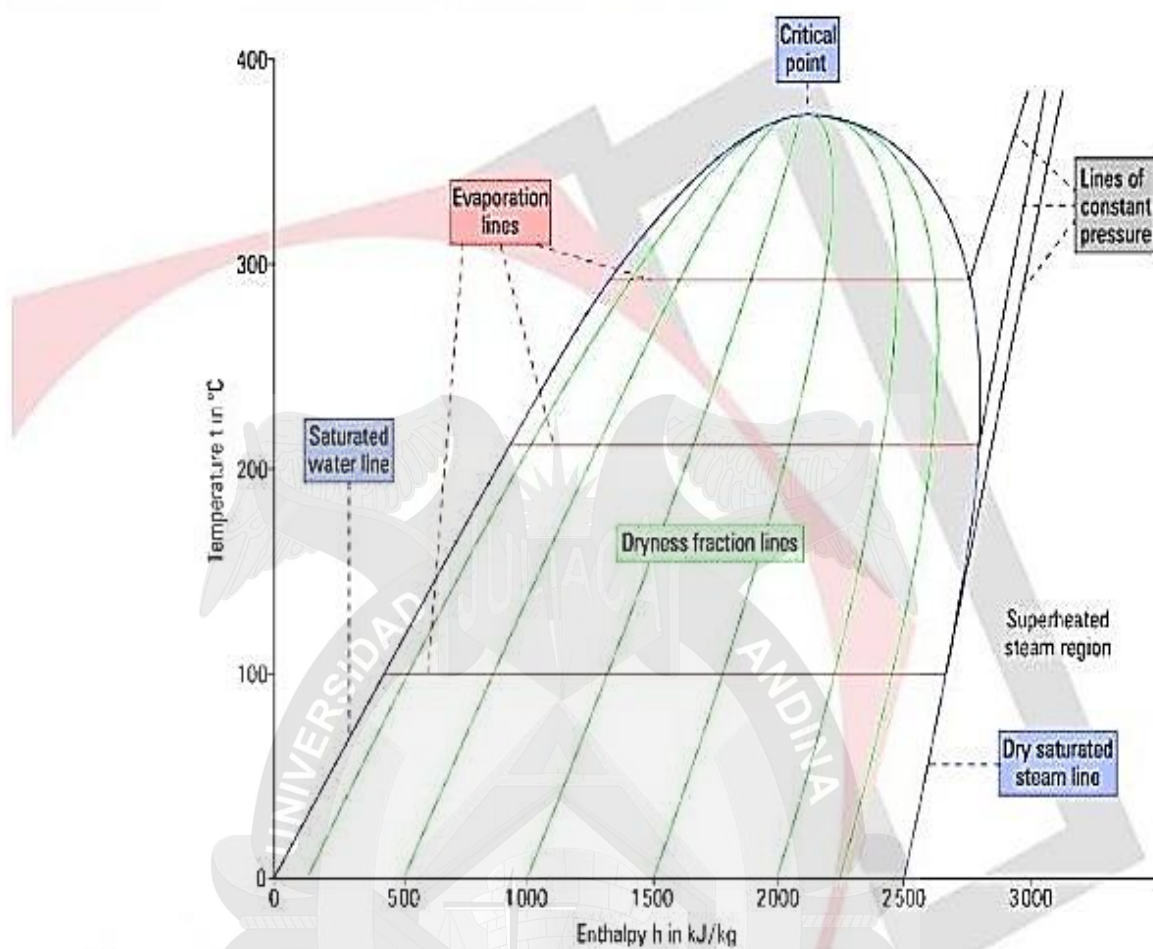


Figura A7 diagrama temperatura v/s entalpia.

Fuente: Spirax Sarco

Tamaño nominal	Diámetro externo, pulgadas	Peso de tubería normal A.S.A. Norma 40										Extra fuerte A.S.A. Norma 80		Doble extra fuerte	
		Diámetro interno, pulgadas	Espesor de pared, pulgadas	Peso por pie extremos planos, libras	Roscas por pulgada	Circunferencia, pulgadas		Área transversal, pulgadas ²		Longitud de la tubería por pie ²		Espesor de pared, pulgadas	Peso por pie extremos planos, libras	Espesor de pared, pulgadas	Peso por pie extremos planos, libras
						Externa	Interna	Externa	Interna	Superficie exterior	Superficie interior				
1/8	0.405	0.269	0.068	0.244	27	1,272	0.845	0.129	0.057	9.431	14.199	0.095	0.31	—	—
2/4	0.540	0.364	0.088	0.424	18	1,696	1.144	0.229	0.104	7.073	10.493	0.119	0.54	—	—
3/6	0.675	0.493	0.091	0.567	18	2,121	1.549	0.358	0.191	5.658	7.748	0.126	0.74	—	—
1/2	0.840	0.622	0.109	0.850	14	2,639	1.954	0.554	0.304	4.547	6.141	0.147	1.09	0.294	1.71
3/4	1.050	0.824	0.113	1.130	14	3,299	2.589	0.866	0.533	3.637	4.635	0.154	1.47	0.308	2.44
1	1.315	1.049	0.133	1.678	11 1/2	4,131	3.296	1.358	0.864	2.904	3.641	0.179	2.17	0.358	3.66
1 1/4	1.660	1.380	0.140	2.272	11 1/2	5,215	4.335	2.164	1.495	2.301	2.768	0.191	3.00	0.382	5.21
1 1/2	1.900	1.610	0.145	2.717	11 1/2	5,969	5.058	2.835	2.036	2.010	2.372	0.200	3.63	0.400	6.41
2	2.375	2.067	0.154	3.652	11 1/2	7,461	6.494	4.430	3.355	1.608	1.847	0.218	5.02	0.436	9.03
2 1/2	2.875	2.469	0.203	5.793	8	9,032	7.757	6.492	4.788	1.328	1.547	0.276	7.66	0.552	13.70
3	3.500	3.068	0.216	7.575	8	10,996	9.638	9.621	7.393	1.091	1.245	0.300	10.25	0.600	18.58
3 1/2	4.000	3.548	0.226	9.109	8	12,566	11,146	12,566	9.886	0.954	1.076	0.318	12.51	0.636	22.85
4	4.500	4.026	0.237	10.790	8	14,137	12,648	15,904	12,730	0.848	0.948	0.337	14.98	0.674	27.54
5	5.563	5.047	0.258	14.617	8	17,477	15,856	24,306	20,006	0.886	0.756	0.375	20.78	0.750	38.55
6	6.625	6.095	0.280	18.974	8	20,813	19,054	34,472	28,891	0.576	0.629	0.432	28.57	0.864	53.16
8	8.625	7.981	0.322	28.554	8	27,096	25,073	58,426	50,027	0.443	0.478	0.500	43.39	0.875	72.42
10	10.750	10.020	0.365	40.483	8	33,272	31,479	90,763	78,855	0.355	0.381	—	—	—	—
12	12.750	12.000	0.375	49.562	8	40,055	37,699	127,676	113,097	0.299	0.318	—	—	—	—

Los tamaños de tubería de 14 pulgadas y superiores se designan por el diámetro exterior y el espesor de pared, si éste está especificado.

Figura A8 Tensiones admisibles típicas para el material de tuberías según código ASME, Sección II, parte D (Cortesía de American Society of Mechanical Engineers.)

Número de especificación	Designación	Tensión de rotura, kilopondios/pulgada²	Tensión admisible representativa no excediendo la temperatura del metal en °F			
			De -20 a 650 °F (de -6 a 343 °C)	800 °F (427 °C)		
A. Chapa de acero al carbono						
SA 285A	Carbono, C	45,0	11,3	8,3		
SA 285B	Carbono, C	50,0	12,5	9,0		
SA 285C	Carbono, C	55,0	13,8	10,2		
SA 442 Gr55	C-Mn-Si	55,0	13,8	10,2		
SA 515 Gr55	C-Si	55,0	13,8	10,2		
SA 516 Gr55	C-Si	55,0	13,8	10,2		
SA 442 Gr60	C-Mn-Si	60,0	15,0	10,8		
SA 516 Gr60	C-Si	60,0	15,0	10,8		
SA 515 Gr60	C-Si	60,0	15,0	10,8		
SA 515 Gr65	C-Si	65,0	16,3	11,4		
SA 516 Gr65	C-Mn-Si	65,0	16,3	11,4		
SA 515 Gr70	C-Si	70,0	17,5	12,0		
SA 516 Gr70	C-Mn-Si	70,0	17,5	12,0		
SA 299	C-Mn-Si	75,0	18,8	12,0		
B. Chapa de acero de baja aleación						
SA 204A	C-1/2 Mo	65,0	16,3	16,2		
SA 204B	C-1/2 Mo	70,0	17,5	17,5		
SA 204C	C-1/2 Mo	75,0	18,8	18,8		
SA 302A	Mn-1/2 Mo	75,0	18,8	17,7		
SA 302B	Mn-1/2 Mo	80,0	20,0	18,8		
SA 302C	Mn-1/2 Mo-1/2 Ni	80,0	20,0	18,8		
SA 302D	Mn-1/2 Mo-3/4 Ni	80,0	20,0	18,8		
SA 225A	Mn-V	70,0	17,5	14,8		
SA 225B	Mn-V	75,0	18,8	12,0		
SA 202A	1/2 Cr-1 1/4 Mn-Si	75,0	18,8	12,0		
SA 202B	1/2 Cr-1 1/4 Mn-Si	85,0	21,3	12,0		
SA 203A & D	2 1/2 Ni & 3 1/2 Ni	65,0	16,3	11,4		
SA 203B & E	2 1/2 Ni & 3 1/2 Ni	70,0	17,5	12,0		
SA 387 2C1.1	1/2 Cr-1/2 Mo	55,0	13,8	13,5		
SA 387 12C1.1	1 Cr-1/2 Mo	55,0	13,8	13,8		
SA 387 11C1.1	1 1/4 Cr-1/2 Mo-Si	60,0	15,0	14,8		
SA 387 22C1.1	2 1/4 Cr-1 Mo	60,0	15,0	15,0		
SA 387 21C1.1	3 Cr-1 Mo	60,0	15,0	13,9		
SA 387-5	5 Cr-1/2 Mo	60,0	15,0	12,8		
C. Chapa de acero de alta aleación						
			-20 a 100	300	500	700
SA 240-405	12 Cr-1A1	60,0	15,0	13,3	12,9	12,1
SA 240-304	18 Cr-8Ni	75,0	18,8	16,6	15,9	15,9
SA 240-316	16 Cr-12Ni-2 Mo	75,0	18,8	18,4	18,0	16,3
SA 240-321	18 Cr-10Ni-Ti	75,0	18,8	17,3	17,1	15,8
SA 240-347	18 Cr-10Ni-Cb	75,0	18,8	15,5	14,9	14,7

N. del T.: Para pasar de kilopondios/in² a kg/mm², hay que multiplicar por 645,16.

Figura A9 Tensiones admisibles típicas para los metales de chapa según el código ASME, Sección II, parte D. (Cortesía de American Society of Mechanical Engineers.)

Tamaño nominal	Diámetro externo, pulgadas	Peso de tubería normal A.S.A. Norma 40										Extra fuerte A.S.A. Norma 80		Doble extra fuerte	
		Diámetro interno, pulgadas	Espesor de pared, pulgadas	Peso por pie extremos planos, libras	Roscas por pulgada	Circunferencia, pulgadas		Área transversal, pulgadas ²		Longitud de la tubería por pie ²		Espesor de pared, pulgadas	Peso por pie extremos planos, libras	Espesor de pared, pulgadas	Peso por pie extremos planos, libras
						Externa	Interna	Externa	Interna	Superficie exterior	Superficie interior				
1/8	0,405	0,269	0,068	0,244	27	1,272	0,845	0,129	0,057	9,431	14,199	0,095	0,31	—	—
2/4	0,540	0,364	0,088	0,424	18	1,696	1,144	0,229	0,104	7,073	10,493	0,119	0,54	—	—
3/6	0,675	0,493	0,091	0,567	18	2,121	1,549	0,358	0,191	5,658	7,748	0,126	0,74	—	—
1/2	0,840	0,622	0,109	0,850	14	2,639	1,954	0,554	0,304	4,547	6,141	0,147	1,09	0,294	1,71
3/4	1,050	0,824	0,113	1,130	14	3,299	2,589	0,866	0,533	3,637	4,635	0,154	1,47	0,308	2,44
1	1,315	1,049	0,133	1,678	11 1/2	4,131	3,296	1,358	0,864	2,904	3,641	0,179	2,17	0,358	3,66
1 1/4	1,660	1,380	0,140	2,272	11 1/2	5,215	4,335	2,164	1,495	2,301	2,768	0,191	3,00	0,382	5,21
1 1/2	1,900	1,610	0,145	2,717	11 1/2	5,969	5,058	2,835	2,036	2,010	2,372	0,200	3,63	0,400	6,41
2	2,375	2,067	0,154	3,652	11 1/2	7,461	6,494	4,430	3,355	1,608	1,847	0,218	5,02	0,436	9,03
2 1/2	2,875	2,469	0,203	5,793	8	9,032	7,757	6,492	4,788	1,328	1,547	0,276	7,66	0,552	13,70
3	3,500	3,068	0,216	7,575	8	10,996	9,638	9,621	7,393	1,091	1,245	0,300	10,25	0,600	18,58
3 1/2	4,000	3,548	0,226	9,109	8	12,566	11,146	12,566	9,886	0,954	1,076	0,318	12,51	0,636	22,85
4	4,500	4,026	0,237	10,790	8	14,137	12,648	15,904	12,730	0,848	0,948	0,337	14,98	0,674	27,54
5	5,563	5,047	0,258	14,617	8	17,477	15,856	24,306	20,006	0,686	0,756	0,375	20,78	0,750	38,55
6	6,625	6,065	0,280	18,974	8	20,813	19,054	34,472	28,891	0,576	0,629	0,432	28,57	0,864	53,16
8	8,625	7,981	0,322	28,554	8	27,096	25,073	58,426	50,027	0,443	0,478	0,500	43,39	0,875	72,42
10	10,750	10,020	0,365	40,483	8	33,272	31,479	90,763	78,855	0,355	0,381	—	—	—	—
12	12,750	12,000	0,375	49,562	8	40,055	37,699	127,676	113,097	0,299	0,318	—	—	—	—

Los tamaños de tubería de 14 pulgadas y superiores se designan por el diámetro exterior y el espesor de pared, si éste está especificado.

Figura A10 Datos de American Standard Asociation para tuberías de acero.

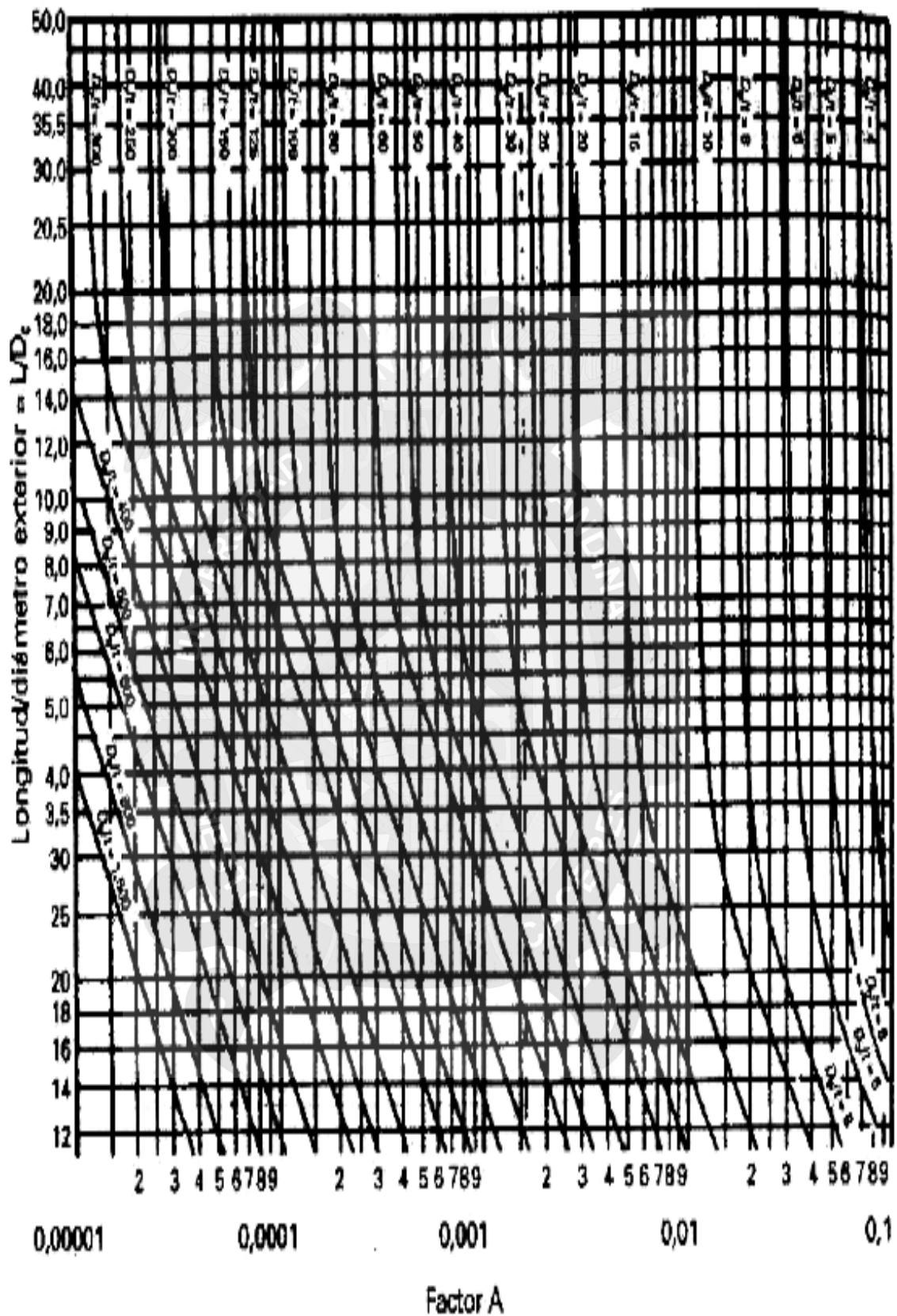


Figura A11 Gráfica del código ASME, Sección II, parte D, para determinar el factor A al calcular la presión externa admisible para tubos de calderas pirotubulares, conductos y hornos. (Cortesía de American Society of Mechanical Engineers.)

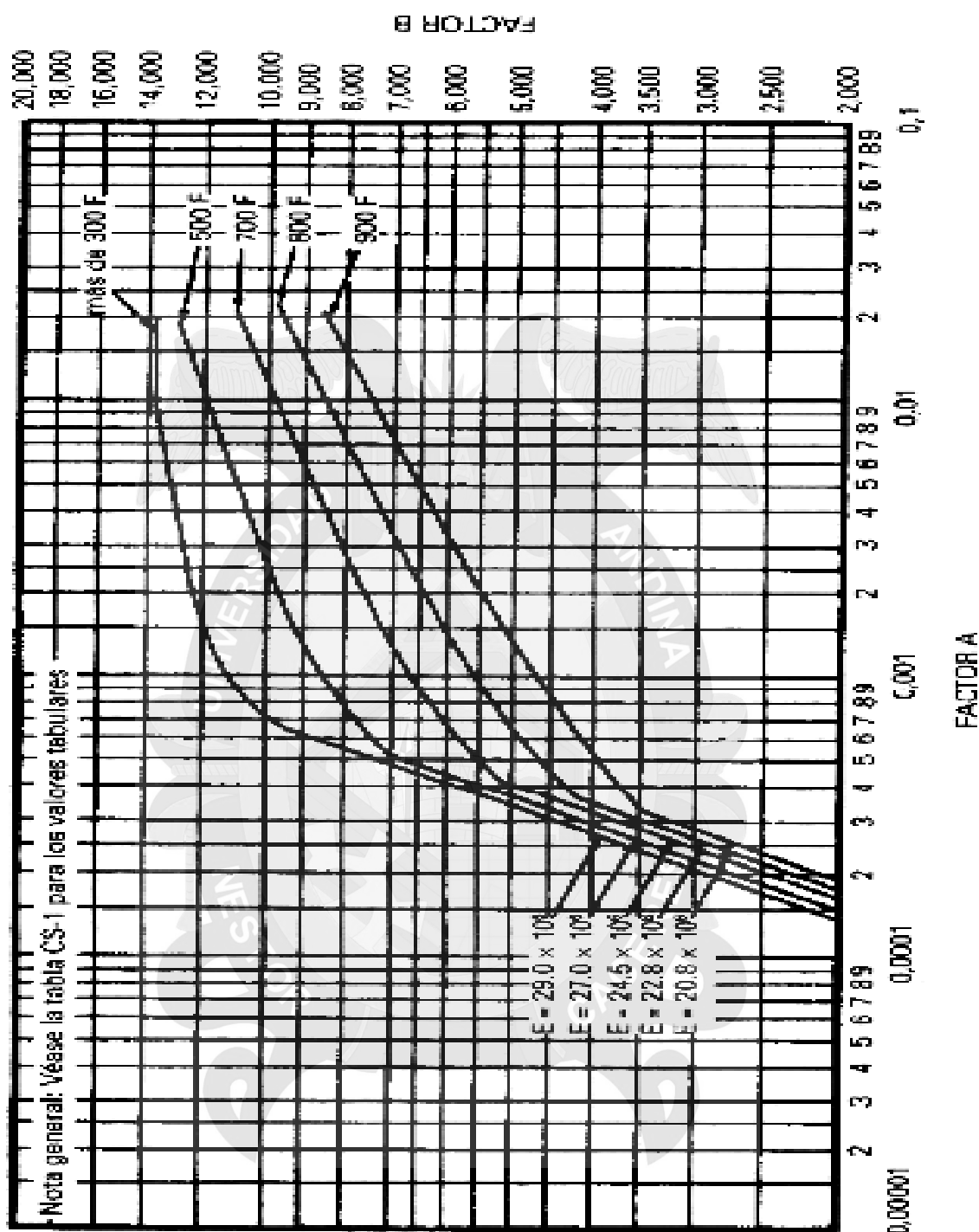


Figura A12 Gráfica del código ASME, Sección II, parte D, para determinar el factor B de los tubos para calderas y hornos pirotubulares, sometidos a presión exterior y construidos en aceros al carbono o aceros de baja aleación con límite elástico mínimo de 24000psi ($1.68 \times 10^6 \text{ kg cm}^2$) y máximo de 30000psi ($2.1 \times 10^6 \text{ kg cm}^2$). (Cortesía de American Society of Mechanical Engineers.)

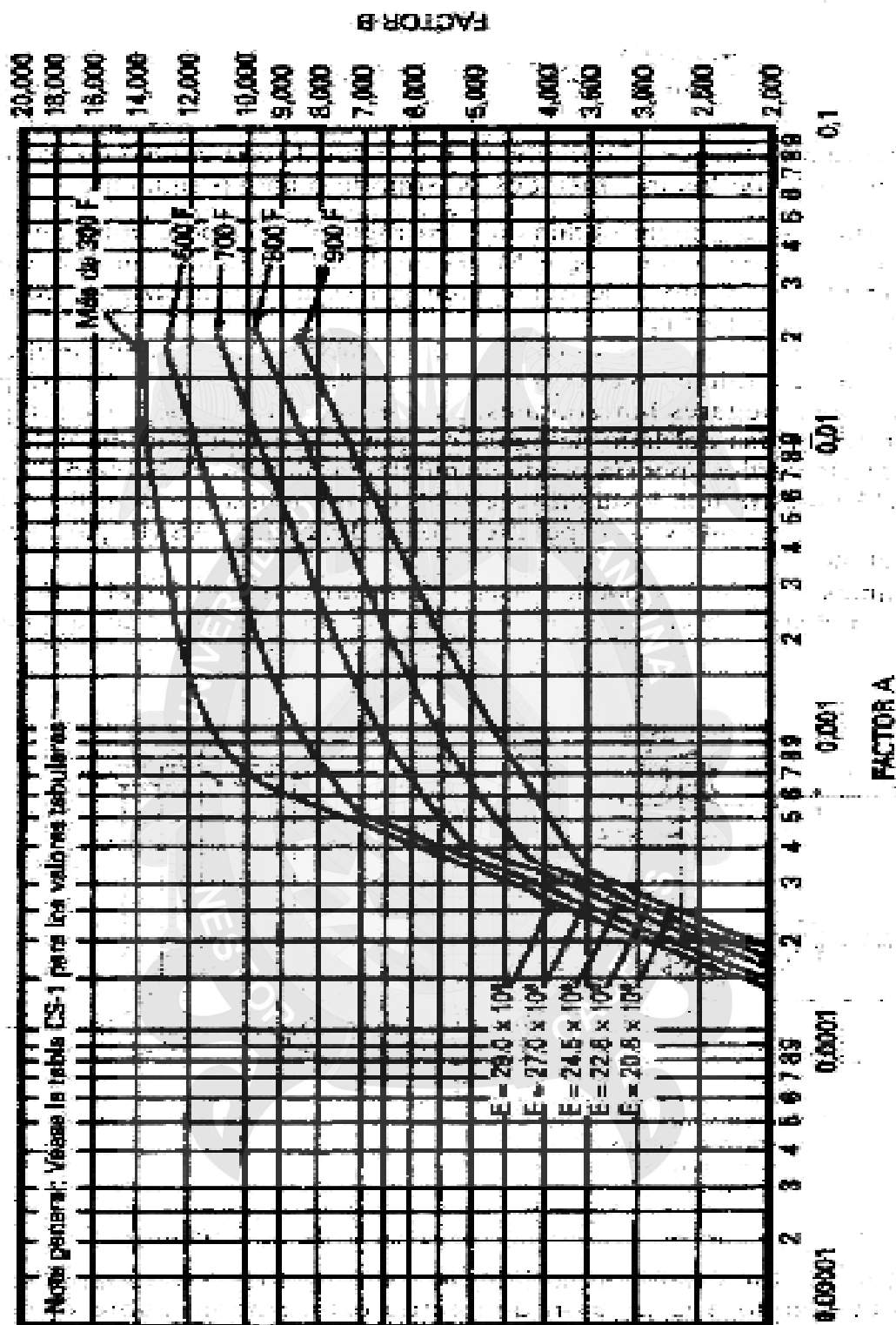


Figura A13 Tabla de la Sección II, parte D del código ASME para determinar el Factor B para tubos de calderas pirotubulares, chimeneas y hogares sometidos a presión externa y contruidos de acero al carbono o de baja aleación con un límite elástico mínimo de 30.000 psi (2.100 kg, cm²) y superiores. (Cortesía de American Society of Mechanical Engineers.)



ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES, CÓDIGOS Y ESPECIFICACIONES REQUERIDAS DE LOS MATERIALES

SECCIONES DEL CÓDIGO ASME DE CALDERAS

En el código ASME de calderas, Sección II, titulada «especificaciones de materiales», hay requerimientos extensos y detallados de los materiales, pruebas y notas. Hay cuatro partes en esta sección:

Parte A: Materiales ferrosos.

Parte B: Materiales no ferrosos.

Parte C: Varillas de soldadura, electrodos y material de relleno.

Parte D: Tablas de tensiones admisibles para cálculos de resistencia del código de calderas.

Las especificaciones de la Sección II son similares a las publicadas por la ASTM (Sociedad americana para pruebas y materiales) y a las especificaciones de los materiales de soldadura publicadas por la AWS (Sociedad americana de soldadura).

La Sección I detalla el material que debe utilizarse para las calderas de potencia. Otras secciones, que incluyen las calderas de calefacción, recipientes o presión no calentados y componentes nucleares, tienen su propio listado de materiales permisibles para las piezas consideradas.

Se han hecho provisiones en la Sección I para el uso de materiales no identificados con una especificación como la listada en la Sección II; sin embargo, deben satisfacerse ciertas condiciones como la recertificación por una parte «neutral» de que el material es equivalente al permisible listado, incluyendo que se han cumplido sus análisis químicos y propiedades mecánicas y sus requerimientos sobre dureza.

Se requiere que el proveedor entregue al fabricante de calderas y al inspector oficial la documentación completa.

ESTRUCTURA MATERIAL

Si una pieza de metal se pule cuidadosamente, se sumerge por un corto periodo de tiempo en un ácido u otro reactivo adecuado y después se examina bajo un

microscopio, se encontrará que está compuesta de pequeñas partículas o cristales. El metal, en vez de ser perfectamente uniforme, está formado por estas pequeñas unidades de materia.

Matriz espacial. Un cristal de un metal determinado está compuesto por átomos dispuestos en un modelo geométrico definido y regular. Este modelo se conoce como matriz espacial y se determina mediante estudios de rayos X. Los átomos en un hierro o acero a temperatura ambiente, por ejemplo, están dispuestos en una matriz cúbica centrada. Esto es, los átomos están situados como en los vértices de un cubo, con un átomo en el centro, como se indica en la Figura 6. 1ª 1. Este modelo se repite a sí mismo a través de una sola imitación, como se indica en la Figura 6.1a2.

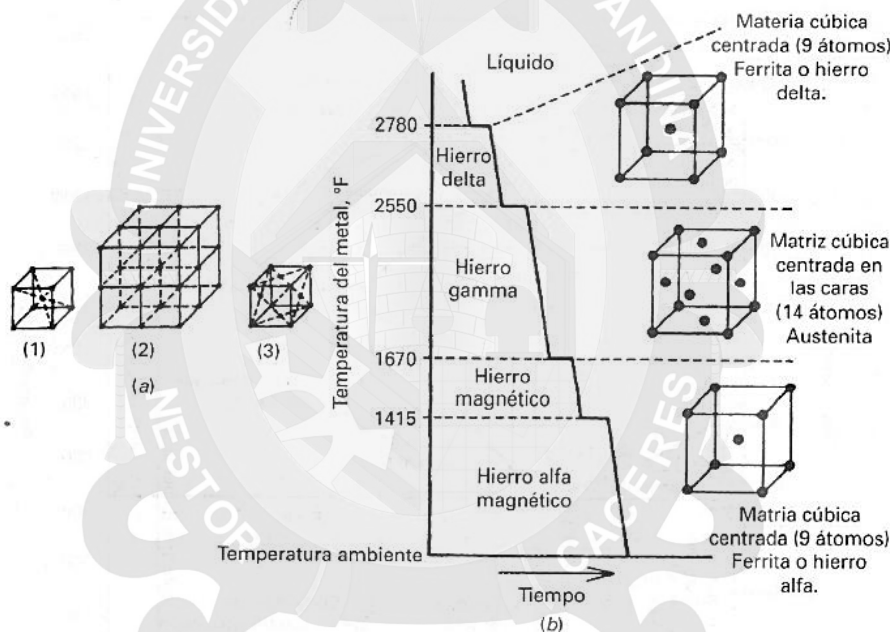


Figura A14 Los átomos del metal están dispuestos en matrices espaciales como sigue:

Dos cristales adyacentes en una barra de hierro o acero tendrán la misma formación matricial, pero su orientación o las direcciones de los ejes de la matriz espacial serán diferentes. El cromo, vanadio, molibdeno y tungsteno también tienen la matriz cúbica centrada.

El hierro a alta temperatura cristaliza en una matriz cúbica centrada en las caras del cubo, o con un átomo en cada vértice y otro en el centro de cada cara, como se ilustra en la Figura 6.1u3. Hay un total de 14 sistemas matriciales.

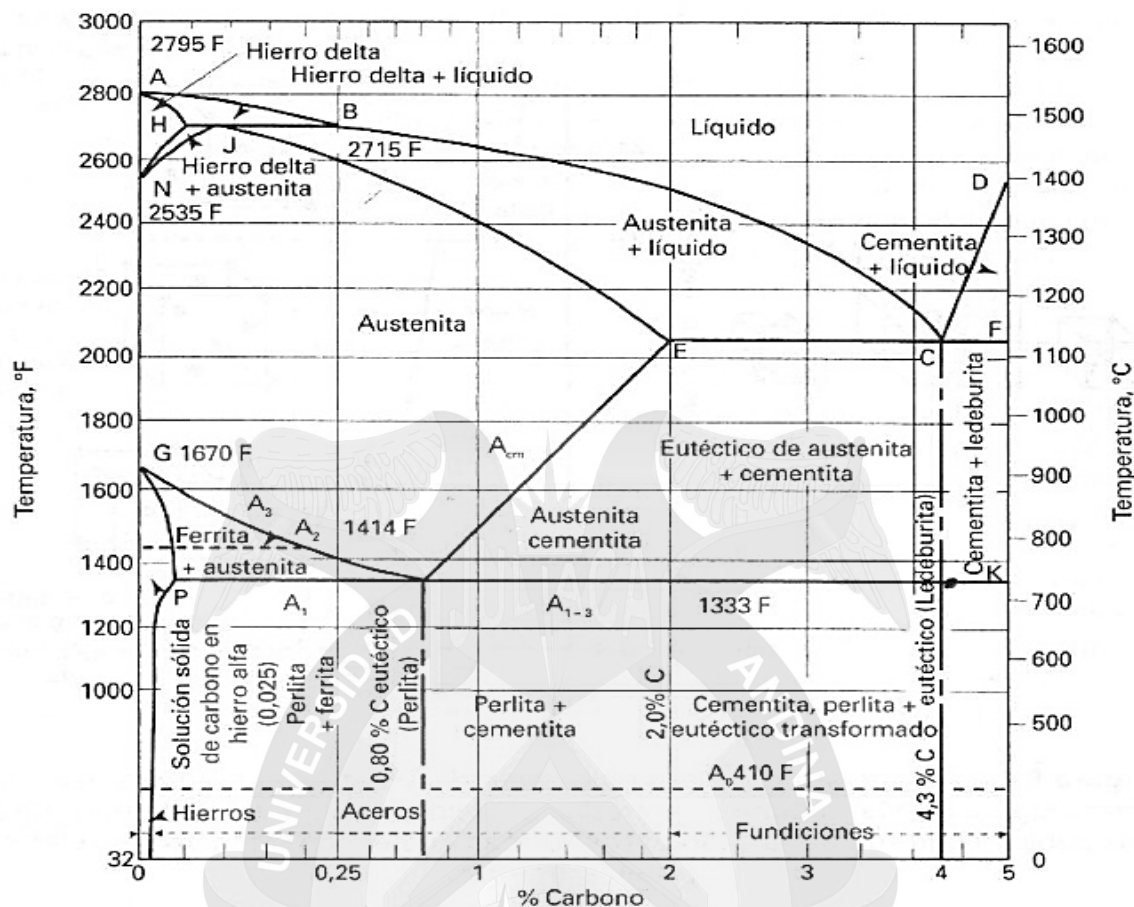


Figura A14 3. Este diagrama de equilibrio hierro-carbono muestra los límites de solubilidad del carbono en hierro. Los porcentajes de cada adición hasta el 100 % en la parte baja del gráfico; por ejemplo, 5 % carbono, 95 % hierro.

A temperatura ambiente el hierro se compone de una matriz cúbica centrada en el cubo (véase la Figura 6.1b). En esta forma se le conoce como hierro alfa o ferrita alfa y es blando, dúctil y magnético. Sobrecalentando por encima de unos 1.415 °F (768,3 °C), el hierro alfa pierde su magnetismo pero conserva su estructura cristalina centrada en el cubo. Esta estructura cambia a cúbica centrada en las caras a aproximadamente 1.370 °F (910 °C), a cuya temperatura el hierro alfa se transforma en hierro gamma y permanece no magnético. Continuando con el aumento de temperatura, ocurre otro cambio de fase a los 2.57 (1°F (1.410 °C) cuando se forma el hierro delta. Este último es idéntico en estructura cristalina (centrada en el cubo) a la del hierro alfa de baja temperatura. Es magnético y estable en su punto de fusión. No hay cambios de fase conocidos en la forma líquida (por encima de los 2.800 °F (1.538 °C). Al enfriar muy lentamente desde el estado líquido los reagrupamientos atómicos descritos antes suceden en orden inverso. Una diferencia de entre un 2 y



un 3 por 100 del contenido de carbono, una diferencia en el tratamiento térmico y una diferencia en la cantidad de trabajo o energía mecánica durante el proceso de conformación pueden ocasionar que varíe la resistencia final del 0,1 por 100 al 50 por 100, y el límite elástico puede variar de 10.000 a 270.000 psi (700 a 18.900 kg/m²).

Los metalurgistas utilizan los diagramas de equilibrio de las aleaciones para predecir cambios que pueden ocurrir con la temperatura a medida que la aleación precipita o solidifica. En la Figura 6.2, el enfriamiento de las aleaciones hierro-carbono tiene lugar a temperaturas como las mostradas por la línea de líquido ABCD. El contenido de carbono hasta el 2 por 100 va en solución sólida en el hierro. Si el contenido de carbono es mayor del 2 por 100 el exceso líquido forma un eutéctico con un compuesto de hierro y carbón. Los metalurgistas pueden predecir a partir de un diagrama de equilibrio qué fase de aleación estará a diferentes temperaturas basada en el porcentaje de contenido de la aleación.

En aceros al carbono, sólo pueden estar presentes tres fases en el estado sólido bajo condiciones de equilibrio:

Austenita: Es una fase de los aceros que consiste en la forma de hierro gamma con carbono en solución sólida. La austenita es no magnética y tiende a endurecerse cuando se trabajan en frío estos aceros austeníticos a temperaturas ordinarias.

Ferrita: Es hierro puro.

Cementita: Es carburo de hierro, Fe, C, formado cuando el hierro y el carbono se combinan químicamente a alrededor de los 1.274 °F (690 °C).

Elementos de aleación en el acero. El propósito de añadir elementos de aleación al acero al carbono es impartir con producto acabado propiedades químicas que no están disponibles en piezas de acero al carbono fabricadas por procedimientos normales. Estas propiedades pueden implicar características deseables eléctricas, magnéticas o térmicas, así como consideraciones de ingeniería tales como: 1) alta resistencia a la tracción o dureza sin fragilidad; 2) resistencia a la corrosión; 3) elevada resistencia o límite de rotura a temperaturas elevadas o bajo cero; 4) otras características físicas deseables requeridas para resistir cargas especiales.

Carbono. Hasta un 1,2 por 100 de carbono en el acero aumenta la resistencia y ductilidad del mismo. Cuando el contenido de carbono está por encima del 2 por 100

se promueve la formación de grafito, que disminuye la resistencia y la ductilidad del acero. El contenido de carbono por encima del 5 por 100 o 6 por 100 causa la fragilidad del metal con muy baja resistencia para cualquier aplicación de resistencia de cargas.

Manganeso. Por una combinación con el azufre, este elemento evita o previene la formación de sulfuro de hierro en las proximidades o entorno del grano. Esto minimiza las roturas superficiales a la temperatura del laminación del acero (defecto rojo), lo que da como resultado una mejora significativa en la calidad de la superficie después del laminado.

Níquel. Este elemento mejora la tenacidad o resistencia al impacto. A este respecto es la más efectiva de todos los elementos de aleación comunes para aumentar la tenacidad a bajas temperaturas.

Cromo. Este elemento contribuye a la resistencia a la corrosión y resistencia en caliente de aceros aleados. Como fuerte formador de carburos, el cromo se usa frecuentemente en aceros de tipo carburizado y de aceros de alta resistencia y elevado porcentaje de carbono para resistencias elevadas al desgaste. Una aleación de 18 por 100 de cromo y 8 por 100 de níquel (cromo-níquel 18/8) se utiliza mucho como acero inoxidable en equipos de presión que requieran resistencia y tenacidad a la corrosión.

Molibdeno. Como el níquel, el molibdeno no se oxida en el proceso de fabricación del acero, característica que facilita un control preciso del temple. Mejora mucho la resistencia a temperatura elevada y reduce la susceptibilidad del acero a la fragilidad del temple.

Boro. Como el boro no forma carburos ni refuerza la ferrita, puede alcanzarse un nivel de tenacidad sin un efecto adverso de la facilidad de mecanizado y conformado en frío que puede tener lugar con otros elementos comunes de aleación.

Aluminio. En cantidades entre el 0,95 por 100 y el 1,30 por 100, el aluminio se usa en aceros nitrurados a causa de su fuerte tendencia formar nitruros de aluminio, que contribuyen a una elevada dureza superficial y superior resistencia al desgaste.

Silicio. El silicio se combina con el carbono para formar carburos duros que, cuando están distribuidos adecuadamente en la aleación, tienen el efecto de aumentar la resistencia elástica sin pérdida de ductilidad.



Tungsteno. El tungsteno forma carburos duros estables cuando se añade al acero. Eleva la temperatura crítica, aumentando así la resistencia de la aleación a temperaturas elevadas.

Vanadio. Este elemento actúa como agente desoxidante como el aluminio lo hace sobre el acero fundido. Forma carburos muy duros, incrementando así la resistencia elástica de las aleaciones de acero de bajo y medio carburo.

Pueden añadirse otros elementos para aumentar la resistencia y tenacidad de laminación de los aceros en la categoría de alta resistencia y baja aleación.

Tratamiento térmico de los aceros. Cuando un acero se calienta a cierta temperatura y después se enfría rápida o lentamente, sus propiedades físicas como el límite elástico, tensión de rotura y dureza pueden verse modificadas.

Los tratamientos térmicos caen dentro de dos categorías generales: aquellos que aumentan la resistencia, dureza y tenacidad por enfriamiento y temple y los que disminuyen la dureza y promueven la uniformidad por enfriamiento lento por encima del rango de transformación o por calentamiento prolongado dentro o por debajo del rango de transformación, seguido de enfriamiento lento.

El recocido de eliminación de tensiones implica calentar hasta una temperatura que se aproxime al rango de transformación, manteniendo suficiente tiempo para alcanzar una temperatura uniforme a través de la pieza y después enfriar a temperatura ambiente atmosférica. El propósito de este tratamiento es descargar las tensiones residuales inducidas por la normalización, mecanizado, conformado por deformación en frío de cualquier tipo. Puede experimentarse algún ablandamiento y mejora de ductilidad dependiendo de la temperatura y tiempo implicado. La normalización implica calentar a una temperatura uniforme de cerca de 100 °F a 150 °F (37,8 °C a 65,6 °C) por encima del rango de transformación, seguido de un enfriamiento al aire.

El endurecimiento consiste en calentar el acero por encima del rango de transformación y enfriarlo repentinamente por inmersión en agua, aceite o algún otro medio de enfriamiento que absorba calor rápidamente.

El temple se define como un proceso de enfriamiento rápido desde una temperatura elevada por contacto con líquidos, gases o sólidos. El temple aumenta la dureza del acero si su contenido de carbono es 0,20 por 100 o más. También eleva el límite



elástico y la carga de rotura y reduce la ductilidad; sin embargo, induce tensiones internas y el metal puede volverse frágil. Esto puede minimizarse por el recocido o recalentamiento del metal o material hasta una temperatura apropiada metalúrgicamente determinada para el metal o material implicado en la operación de temple.

CÓDIGO ASME. DESIGNACIONES DEL NÚMERO SA

Los números SA, tales como el SA-178, de los tubos de caldera de acero al carbono soldados por resistencia eléctrica, se usan en las distintas secciones del código ASME de calderas para mostrar la especificación admisible del material para diferentes componentes de una caldera o recipiente a presión. La lista de materiales admisibles es bastante amplia y crece actualmente a medida que las laminaciones del acero y las metalúrgicas desarrollan nuevos materiales que encuentran aprobación por los comités de admisión y aprobación. La Sección II ofrece un listado de los requerimientos específicos para materiales aprobados en la Sección I. Esto incluye ahora tensiones admisibles para los materiales SA listados según la temperatura de trabajo. Dicha tabla de tensiones se muestra en las Figuras 9.2 y 9.3 del Capítulo 9, donde se revisan los cálculos de tensiones del código. Se suministran a continuación unas pocas definiciones que son apropiadas al revisar los requisitos del código ASME de calderas.

Recubrimiento es todo material aplicado sobre un tubo de acero para aumentar su resistencia a la corrosión, pero que no contribuye a la resistencia del tubo para soportar la presión interna según las normas del Código. Calidad de hogar (o caja de llamas) es un acero que es adecuado para su utilización en recipientes a presión que estarán expuestos a llamas o calor y por ello capaz de resistir las tensiones térmicas y mecánicas resultantes.

Calidad de calderas (o bridas) es un acero para utilización en recipientes a presión que no están expuestos al fuego o calor radiante. Se requiere una fabricación especial, pruebas y marcaje del acero como calidad de calderas.

Carga o colada de acero es el acero producido de una misma carga o colada de horno y consiguientemente prácticamente idéntico en sus propiedades.

Aceros resistentes al calor son aquellos aceros calificados o apropiados para el servicio a relativamente altas temperaturas porque conservan la mayor parte de su resistencia y aguantan o soportan la oxidación a estas temperaturas.

Acero calmado es un acero al que se le han añadido suficientes agentes desoxidantes en su fabricación para evitar la evolución de gases durante la solidificación y así reducir la posibilidad de porosidad en el acero.

Acero estriado es un acero que cuando se hace la colada tiene suficiente oxígeno para evolucionar con apreciables cantidades de gases durante la solidificación. La evolución gaseosa da por resultado un acabado del acero con una superficie muy neta, pero con impurezas concentradas en el interior, de ahí el nombre.

Acero semicalmado es un acero que posee propiedades intermedias entre las del acero calmado y el estriado, y que, se caracteriza por grados variables de uniformidad y composición cuando se manufactura.

Acero estirado es un acero o chapa de acero a partir de la cual se elaboran los tubos. Solución sólida es la condición en la que un elemento se disuelve en otro elemento mientras el elemento que se disuelve está en forma sólida y no en estado líquido.

Requisitos del material según el código ASME. Deben seguirse por el fabricante o reparador ciertos procedimientos para estar seguros de que solamente se usan materiales especificados según la normativa de construcción de calderas. También es parte de la responsabilidad del inspector autorizado ayudar a implementar un procedimiento de control de calidad para asegurarse de que se utiliza material según el Código. Estos controles pueden (deben) incluir lo siguiente:

1. El material a utilizar para una caldera o recipiente a presión debe especificarse en la sección del Código bajo el cual se construye la caldera o recipiente a presión. Por ejemplo, si una caldera de alta presión está implicada debe listarse como material permisible en la Sección I (Calderas de potencia) o los datos deben presentarse para demostrar que tienen las mismas características fisicoquímicas que el material listado en el Código.
2. El fabricante de la caldera o recipiente a presión generalmente pide materiales según el Código a las acererías. El laminador de las chapas es responsable de efectuar las pruebas necesarias según las especificaciones



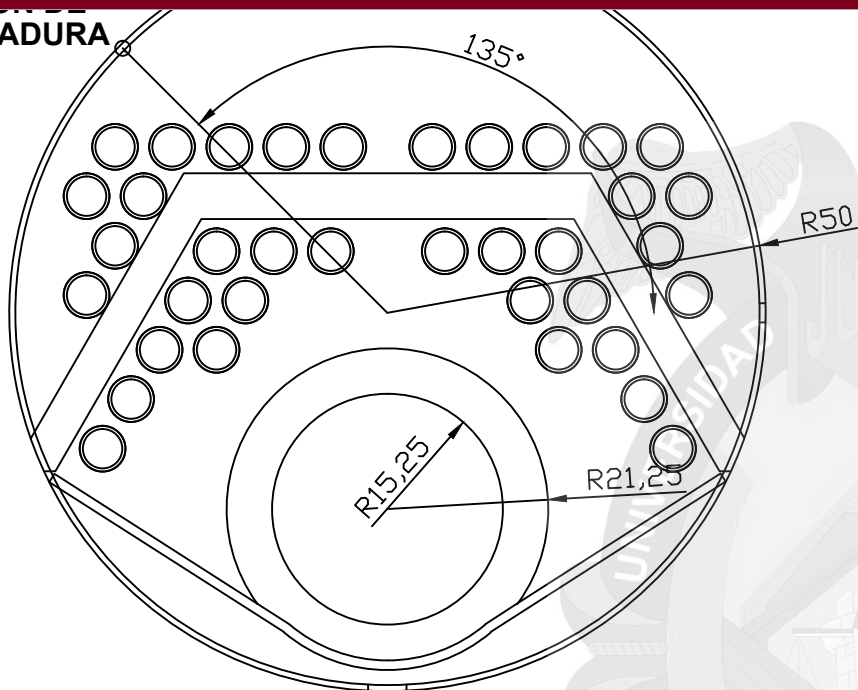
dadas según la Sección II del código ASME de calderas y recipientes a presión*.

3. Los requisitos de la Sección II que el fabricante acerista debe haber realizado comprenden lo siguiente:
 - a. Análisis químico del acero para determinar si está dentro de los límites de las especificaciones del Código.
 - b. Pruebas para determinar si la estructura metalúrgica del grano está dentro de los límites de la especificación del Código.
 - c. En España. «Reglamento de Aparatos a Presión e Instrucciones Técnicas Complementarias» del MINER.
 - d. Inspección de las chapas o tubos para notar si existen defectos como sopladuras, escoria, escamaciones, laminaciones o cualquier imperfección que pueda estar presente, y, si lo está, si cae dentro de los límites o tolerancias especificadas en el Código.
 - e. Pruebas de tensión y doblado (flexión) especificadas en el Código para controlar si caen dentro de los límites de sus especificaciones.
 - f. Pruebas de impacto para comprobar la fatiga o tensión de rotura.



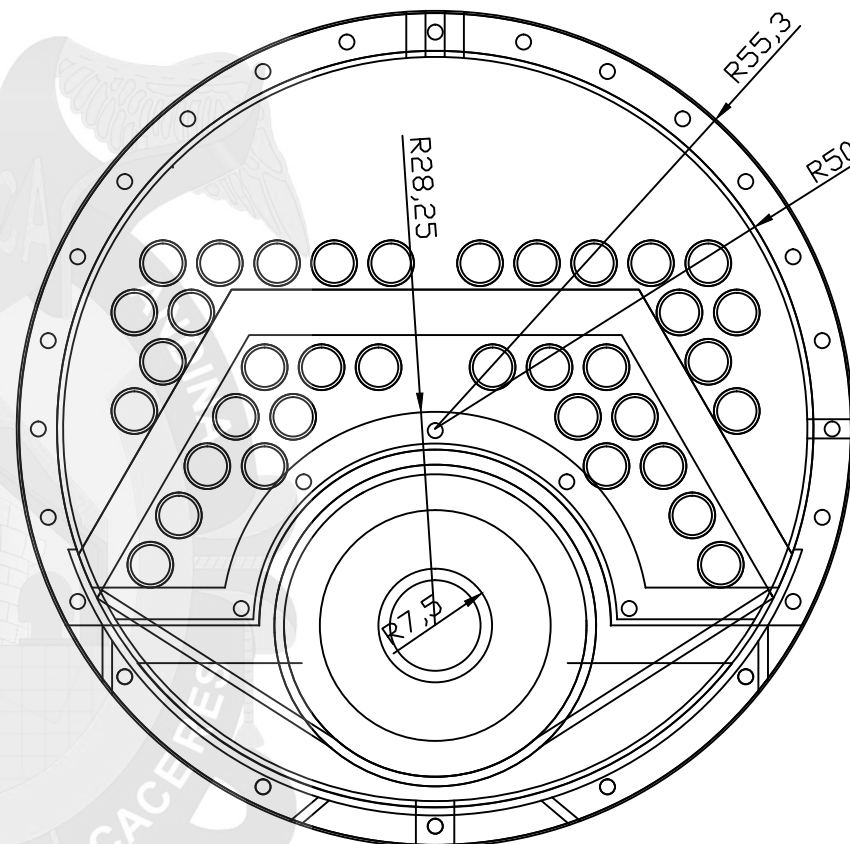
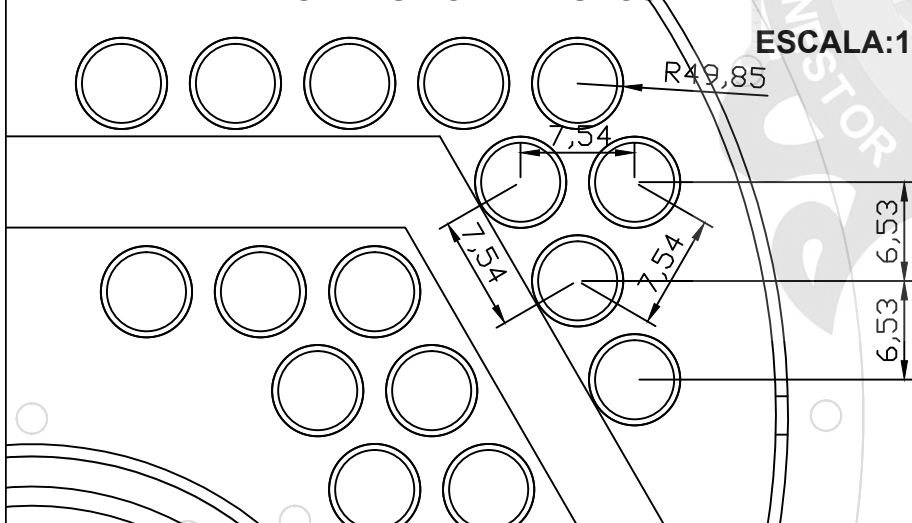
PERNOS

SOLDADURA



DETALLE DE LA DISTRIBUCION DE TUBOS

ESCALA:1:50



INSTITUCION:

UANCV

CARRERA ACADEMICO PROFESIONAL DE MECÁNICA ELÉCTRICA

NOMBRE DE PROYECTO:

Diseño de una caldera

Dibujante:

Pedro Huallata Apaza

Unidad:

Cm.

Revisado por:

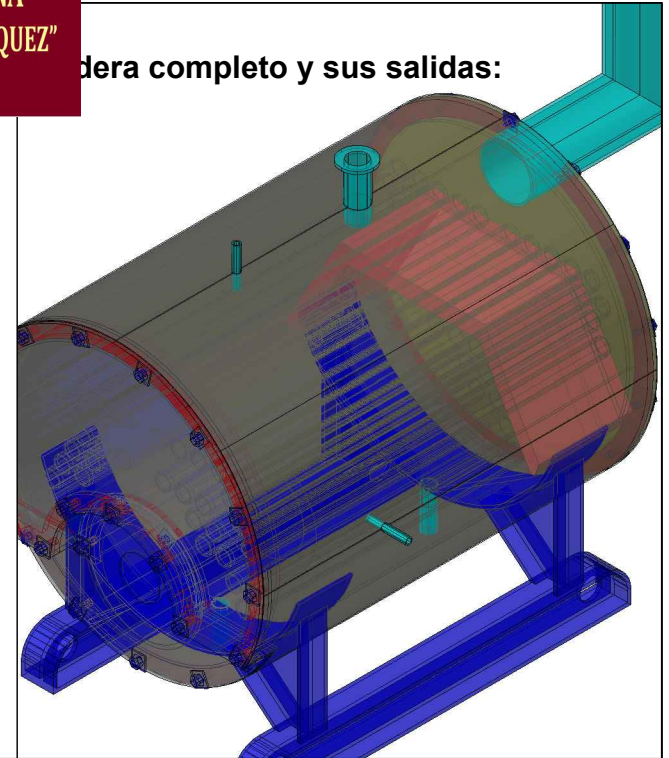
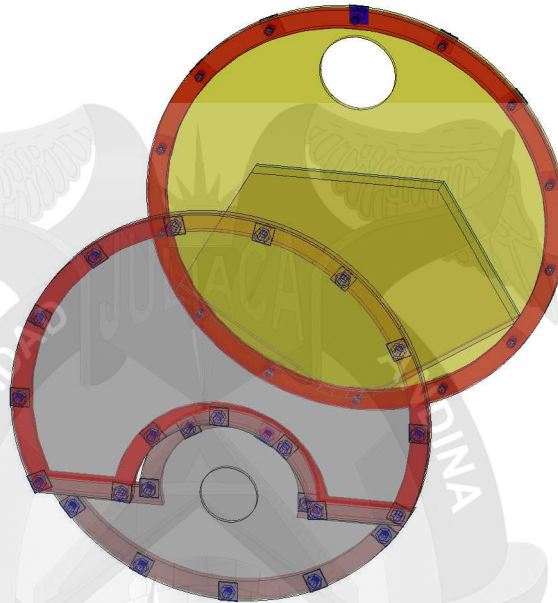
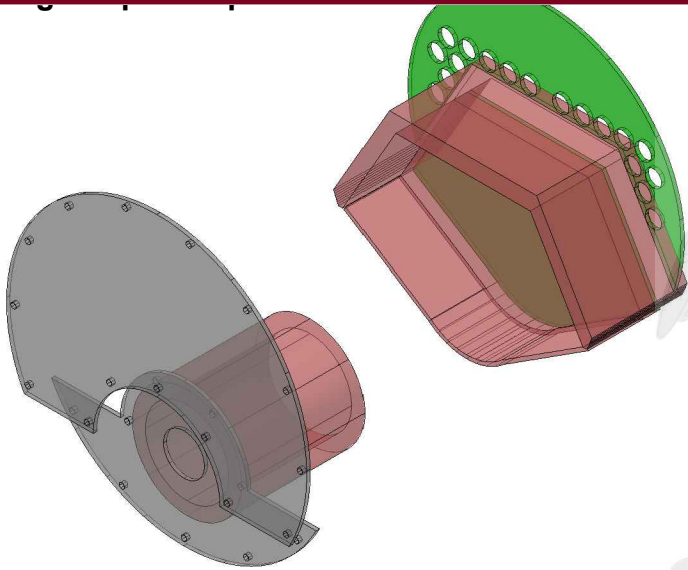
Jurados de tesis

Escala:

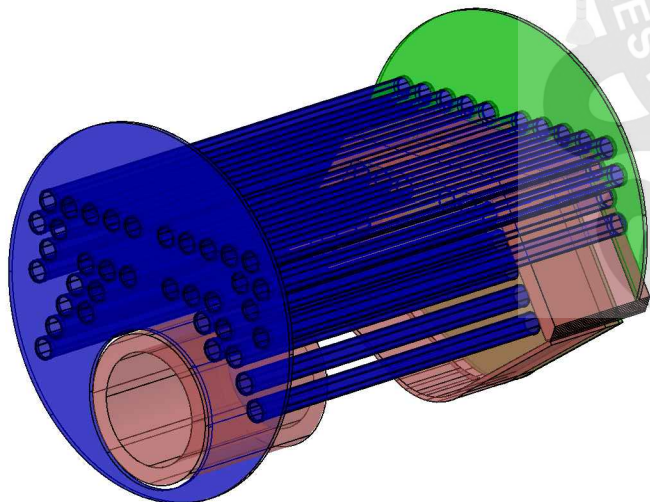
1:100



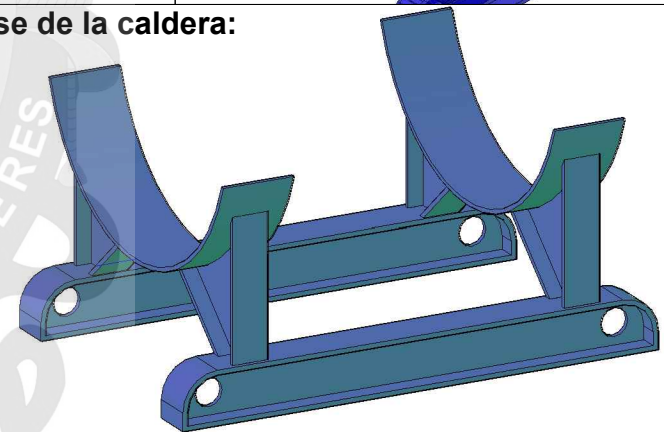
dera completo y sus salidas:



Segundo y tercer paso:



Soporte base de la caldera:



INSTITUCION:

UANCV

CARRERA ACADEMICO PROFESIONAL DE MECÁNICA ELÉCTRICA

NOMBRE DE PROYECTO:

Diseño de una caldera

Dibujante:

Pedro Huallata Apaza

Unidad:

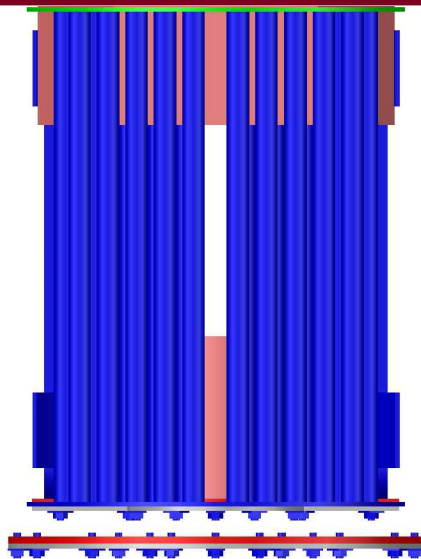
Cm.

Revisado por:

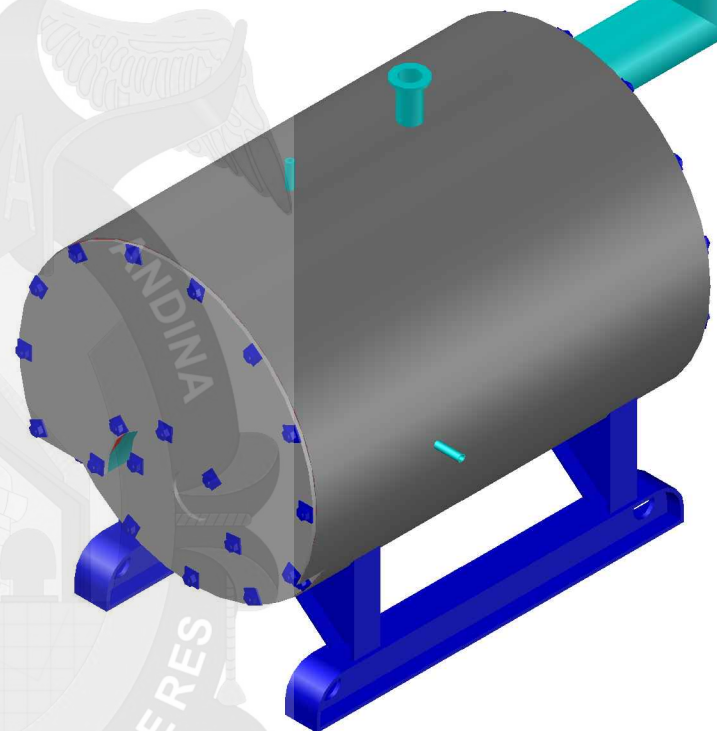
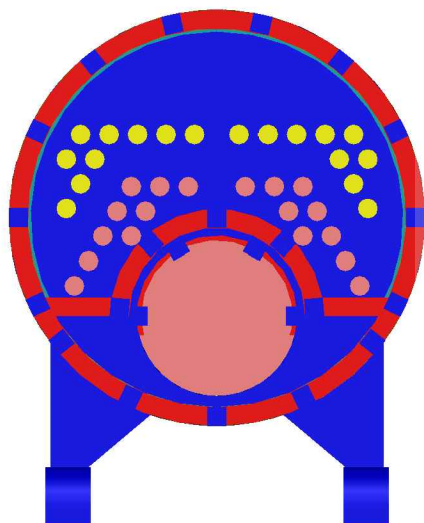
Jurados de tesis

Escala:

1:200



Vista frontal sin tapa:



INSTITUCION:

UANCV

CARRERA ACADEMICO PROFESIONAL DE MECÁNICA ELÉCTRICA

NOMBRE DE PROYECTO:

Diseño de una caldera

Dibujante:

Pedro Huallata Apaza

Unidad:

Cm.

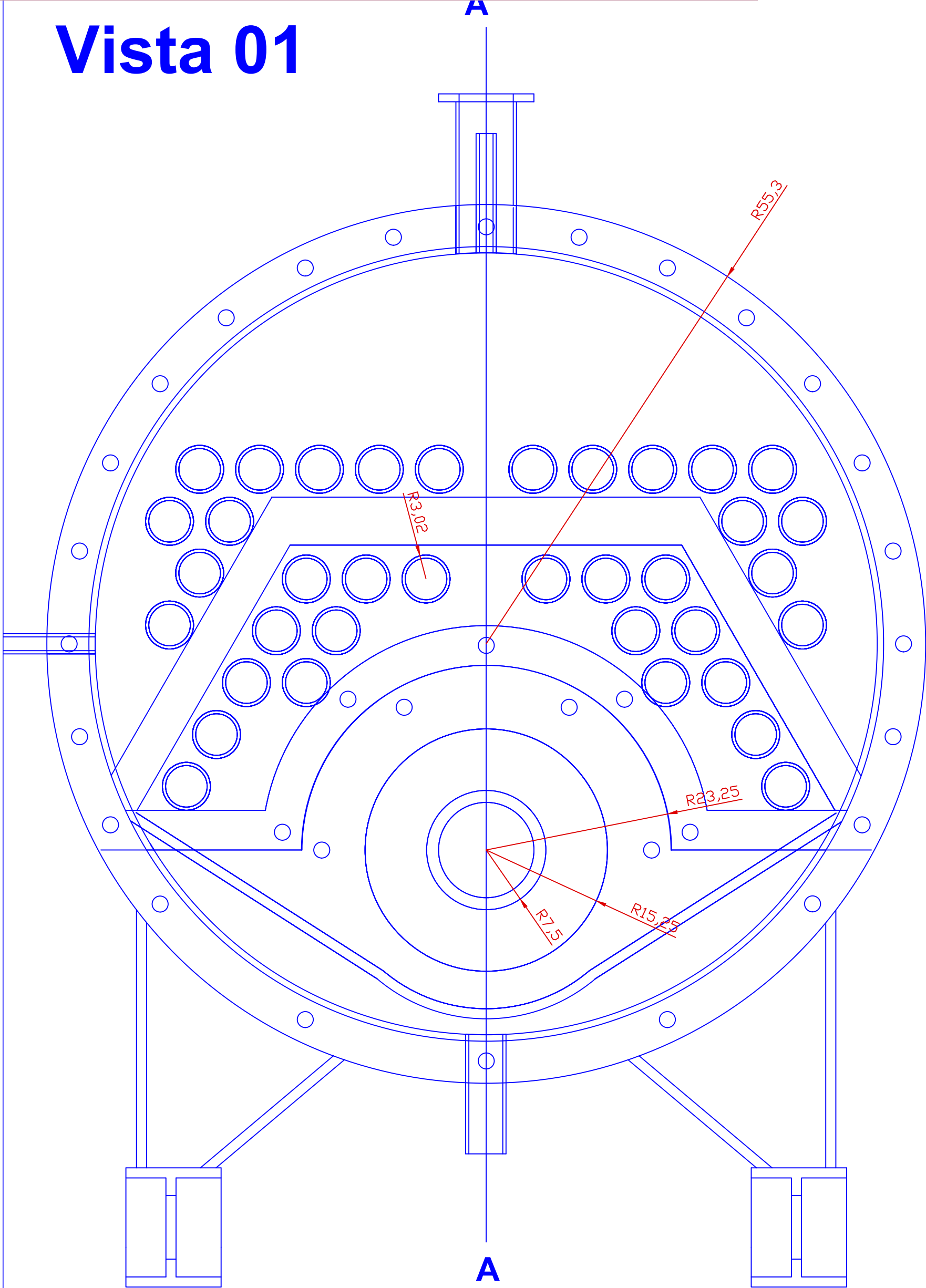
Revisado por:

Jurados de tesis

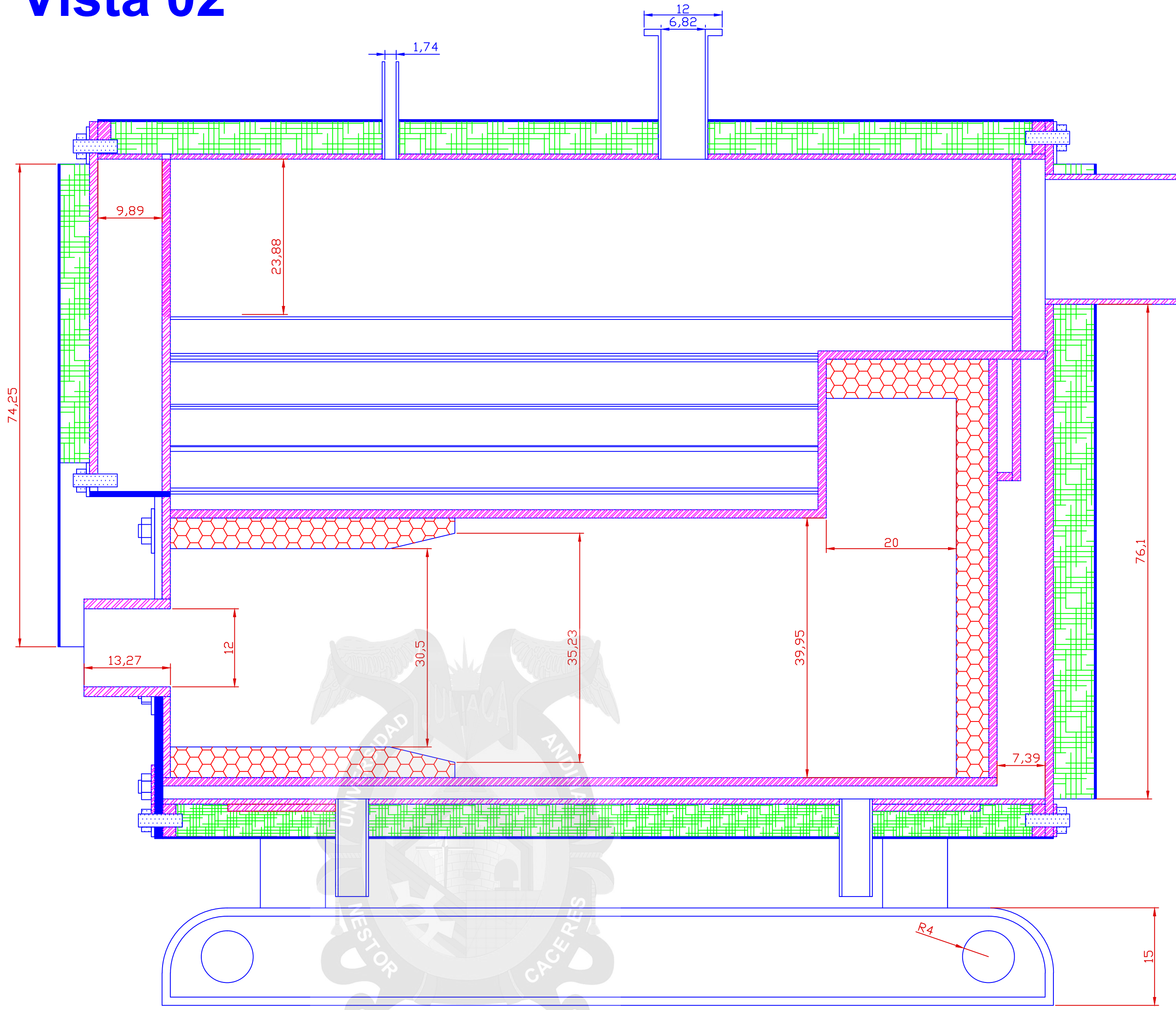
Escala:


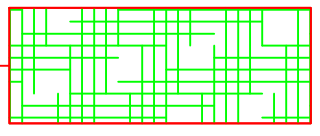
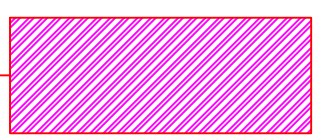
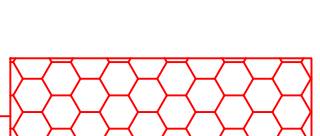
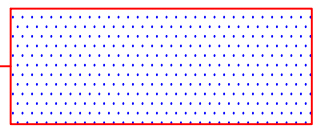
1:200

Vista 01

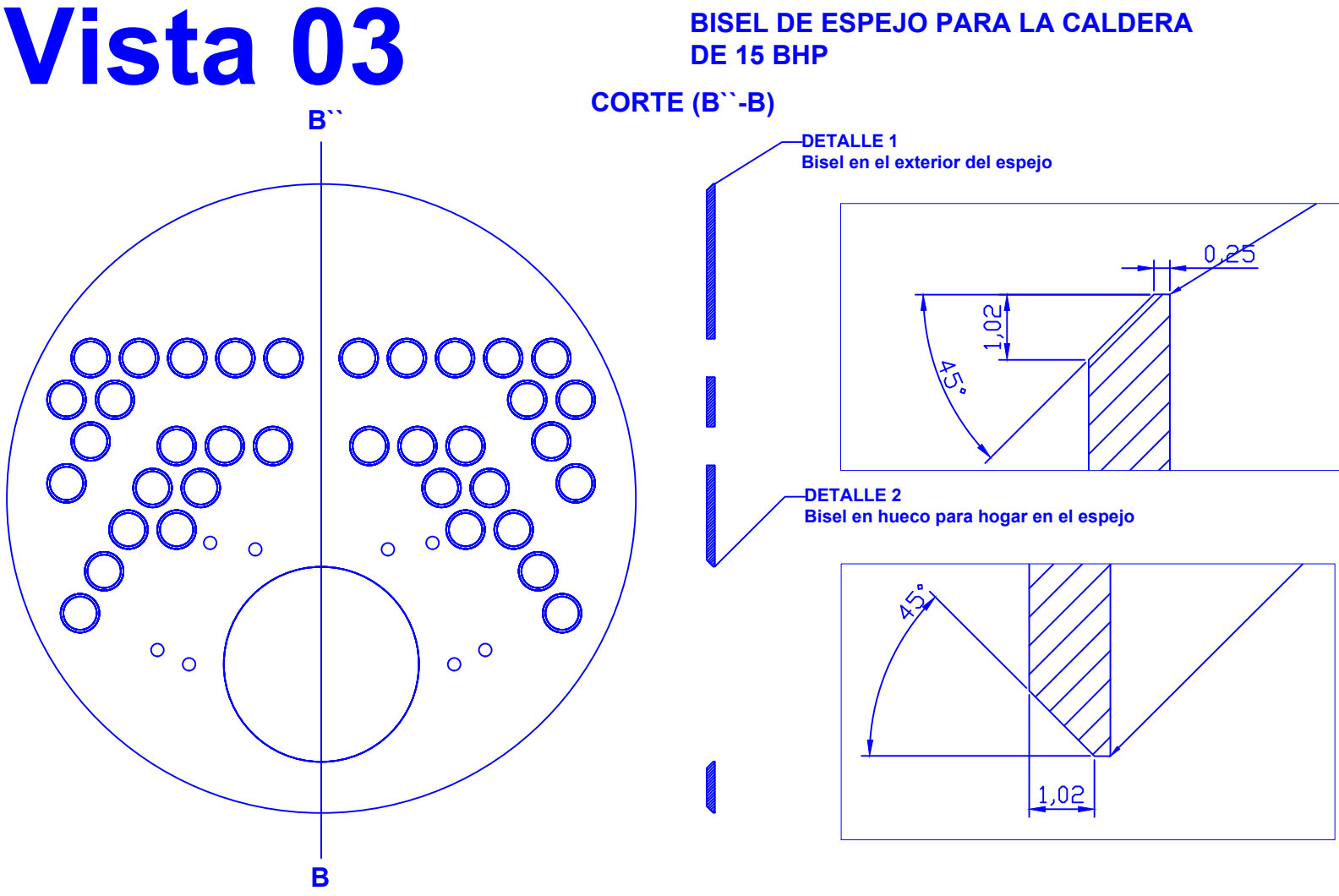


Vista 02

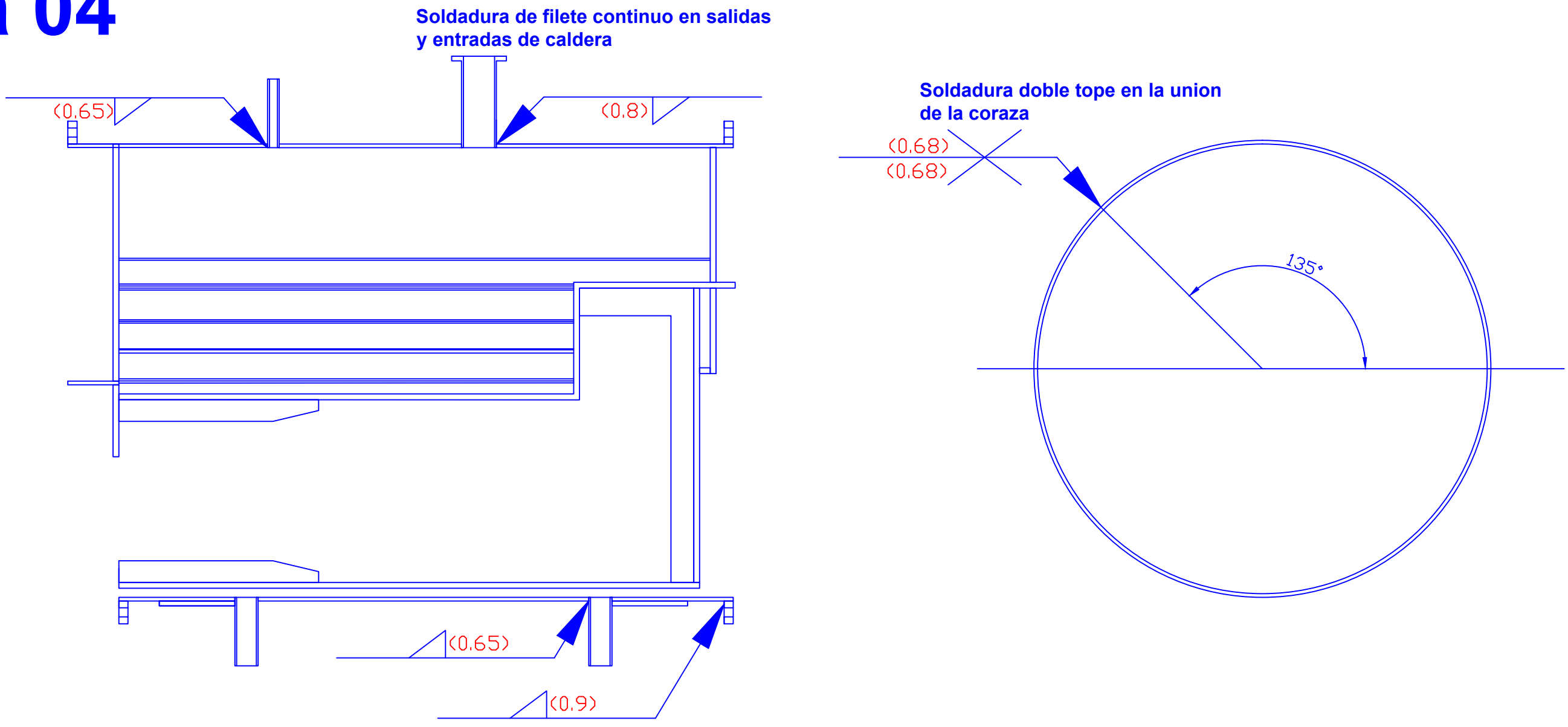


-  Cubierta de caldera
plancha Laf de 1/20
-  Lana de roca mineral
2 pulgadas
-  Estructura interna
plancha ASTM grado
C 3/8 de pulgada
-  Tejas refractarias
-  Pernos de sujecion

Vista 03



Vista 04



Vista 01

Vista frontal de la caldera

Escala: 1:50

Vista 02

Caldera en corte (A-A)

Escala: 1:50

Vista 03

Bisel de espejo para soldar

Escala: 1:100

Vista 04

Cordones de soldadura en
corazade la caldera

Escala: 1:100

INSTITUCION: UANCV		
CARRERA ACADEMICO PROFESIONAL DE MECANICA ELÉCTRICA		
NOMBRE DE PROYECTO: DISEÑO DE UNA CALDERA	Dibujante: Pedro Huallata Apaza	Unidad: Cm.
Lamina: 01	Revisado por: Jurados de tesis	Escala: